



# **Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

Dirección General de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería Geológica Minera  
Unidad de Posgrado

## **“Relación del contenido de plomo con las condiciones sub estándar(CS) de los laboratorios del Perú”**

### **TESIS**

Para optar el Grado Académico de Magíster en Gestión integrada  
en Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente

### **AUTOR**

Victor Hugo PERAGALLO BARRIOS

### **ASESOR**

Mg. Fernando ANAYA MELÉNDEZ

Lima, Perú

2021



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Peragallo, V. (2021). *Relación del contenido de plomo con las condiciones sub estándar(CS) de los laboratorios del Perú*. Tesis para optar el grado de Magíster en Gestión integrada en Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente. Unidad de Posgrado, Facultad de Ingeniería Geológica Minera, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

---



## **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

### **SUSTENTACIÓN PÚBLICA**

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Lima, a los seis días del mes de enero del año dos mil veintiuno, siendo las once horas, se reúnen los suscritos Miembros del Jurado Examinador de Tesis, nombrado mediante Dictamen N° 000132-2020-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM del 26 de diciembre del 2020, con la finalidad de evaluar la sustentación virtual a la amparo de la Directiva de la UNMSM aprobada con Resolución Rectoral N° 01357-R-20 de la siguiente tesis:

#### **TÍTULO**

#### **«RELACIÓN DEL CONTENIDO DE PLOMO CON LAS CONDICIONES SUBESTÁNDAR(CS) DE LOS LABORATORIOS DEL PERÚ»**

Presentado por el Bach. **VICTOR HUGO PERAGALLO BARRIOS**, para optar el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER** en **GESTIÓN INTEGRADA EN SEGURIDAD, SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE**.

El Miembro del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente N° 07047/FIGMMG/2016 de fecha 22 de setiembre del 2016, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y que cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento General de Estudios de Posgrado», aprobado con Resolución Rectoral N° 04790-R-18 del 08 de agosto del 2018.

Luego de la Sustentación, se procede con la calificación de la Tesis, de acuerdo al procedimiento respectivo y se registra en el acta correspondiente de conformidad al Art. 100 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

#### **BUENO (16)**

Habiendo sido aprobada la sustentación virtual de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER** en **GESTIÓN INTEGRADA EN SEGURIDAD, SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE** al Bach. **VICTOR HUGO PERAGALLO BARRIOS**.

Siendo las 12:00 horas, se dio por concluido al acto académico.

MG. DANIEL FLORENCIO LOVERA DÁVILA  
Presidente

MG. LIA ELIS CONCEPCIÓN GAMARRA  
Miembro

MG. JUAN EDMUNDO ESTRADA ALARCÓN  
Miembro

MG. FERNANDO ANAYA MELÉNDEZ  
Asesor

## HOJA DE METADATOS COMPLEMENTARIOS

Código ORCID del autor	<b>0000-0001-6056-2468</b>
DNI o pasaporte del autor	07930755
Código ORCID del asesor	<b>0000-0002-3131-3961</b>
DNI o pasaporte del asesor	06550807
Grupo de investigación	_____
Agencia financiadora	Autofinanciado
Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación	Lima-Dto. Ventanilla Lima-Dto. Lurín Nasca-Dto. Nasca
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2017-2018
Disciplinas OCDE	Ciencias la salud. Salud ocupacional <a href="http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#3.03.10">http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#3.03.10</a>

Agradezco a las personas que me han apoyado en el presente trabajo de tesis, a mi asesor Fernando Anaya Meléndez por su apoyo y sugerencias en la redacción de la tesis, a la Profesora Nora Malca por sus observaciones, al Ing. Nabor Mucha por sus Apoyo en conseguir desarrollar mi tesis y al Ingeniero Daniel Lovera por sus observaciones y sugerencias en la tesis.

## INDICE

### CAPITULO 1: INTRODUCCION

1.1 Situación Problemática .....	1
1.2 Formulación del problema.....	2
1.3 Justificación Teórica .....	3
1.4 Justificación Práctica .....	6
1.5 Justificación Metodológica .....	7
1.6 Justificación Legal.....	8
1.7 OBJETIVOS	
1.7.1 OBJETIVO GENERAL .....	10
1.7.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	10

### CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Histórico de la investigación.....	12
2.1.1 Toxicología del plomo .....	13
2.1.2 Marco Teórico .....	20
2.2 Antecedentes de la Investigación .....	25
2.3 Bases Teóricas .....	42

### CAPITULO 3HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis General .....	47
3.2 Hipótesis específicas .....	47-48
3.2.1 Hipótesis específicas 1	
3.2.2 Hipótesis específicas 2	
3.2.3 Hipótesis específicas 3	
3.3 Identificación de variables.....	48-49
3.4 Operacionalización de variables .....	51
3.5 Matriz de consistencia .....	53

### CAPITULO 4: METODOLOGIA

4.1 Tipo y diseño de la investigación .....	58
4.2 Unidad de análisis	
4.3 Población, muestra y tamaño de estudio	
4.4 Problemática del estudio.....	59
4.5 Pasos para la recolección de datos y análisis de la muestra .....	60
4.6 Análisis e interpretación de la información.....	61

## **CAPITULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

5.1 Análisis, interpretación y discusión de resultados.....	63
5.2 Prueba de Hipótesis.....	69
5.2.1 Hipótesis específica 1 .....	70
5.2.2 Hipótesis específica 2 .....	71
5.2.3 Hipótesis específica 3 .....	75
5.2.4 Hipótesis General .....	80
5.3 Resultados	
Laboratorio A	
Tablas 14A1-15A2 ver Listado de tablas A.....	82-83
Laboratorio X	
Tablas Laboratorio 16-18X ver Listado de tablas X .....	84-88
Laboratorio B	
Tablas Laboratorio B 19-32 B-PR ver Listado de tablas B.....	89-105

## **CAPITULO 6: IMPACTOS**

6.1 Propuesta para la solución del problema.....	107
6.2 Costo de implementación de la propuesta.....	108
6.3 Beneficios que aporta la propuesta.....	108

## **7. CONCLUSIONES .....**

## **8. RECOMENDACIONES .....**

## **9. BIBLIOGRAFIA .....**

## **ANEXO 1 MATERIALES Y EQUIPOS .....**

## **ANEXO 2 PROCEDIMIENTO OPERACIONAL.....**

a) CALIBRACIÓN DE ROTÁMETROS .....	120
b) PROCEDIMIENTO DE MUESTREO .....	124
c) ATAQUE Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS .....	125



d) LECTURAS POR ABSORCIÓN ATÓMICA .....	125
---	-----

### **ANEXO 3**

Figuras N°39-41 Fotos Laboratorio A .....	126-128
Figuras N°42-61 Fotos Laboratorio B .....	129-146
Figuras N°62-65 Fotos Laboratorio X .....	147-150

### **ANEXO 4**

MAPA METALOGENÉTICO DEL PERÚ y Laboratorios de ensayos al fuego en el Perú.....	151-153
--	---------

### **ANEXO 5**

Guía para reducir plomo inorgánico en laboratorios de ensayos al fuego, editado por la oficina de jefesinspectores de minas British Columbia (First edition of "A Guideline to Reducing Inorganic Lead Exposure in Fire Assay Laboratories" .....	154-158
---	---------

### **ANEXO 6**

Glosario.....	159-161
---------------	---------

<b>ANEXO 7</b> Incertidumbre de la medición de plomo.....	156-159
---	---------

## **Lista de cuadros y Tablas**

<b>TABLA N°1</b> Nivel de plomo poblacional en trabajadores .....	2
<b>TABLA N°2</b> Factores de deposición de plomo.....	14
<b>TABLA N°3</b> Clínica de intoxicación del plomo. ....	19
<b>TABLA N°4</b> Propiedades físico-químicas del plomo .....	20
<b>TABLA N°5</b> Prueba de ajustes de mascarillas respiratorias .....	24
<b>TABLA N°6</b> Variables dependientes.....	49
<b>TABLA N°7</b> Operalización de las variables .....	51-52
<b>TABLA N°8</b> Matriz de consistencia.....	53-56
<b>TABLA N°9A</b> Resumen laboratorio A .....	64
<b>TABLA N°10X</b> Resumen laboratorio X.....	65

<b>TABLA N°11B- 11B1</b> Resumen laboratorio B .....	66-67
<b>TABLA N°12</b> Ensayo medias fundición vs copelación .....	73
<b>TABLA N°13</b> Medias fundición sin extractor vs fundición con extractor	76
<b>TABLA 14</b> Medias fundición sin extractor vs fundición con extractor .....	76
<b>TABLA 15</b> Medias fundición Horno 3 (un solo horno en uso) 1 vs Horno 3 (dos hornos en uso) .....	78
<b>TABLAS LABORATORIO A</b>	
<b>TABLA N°16A1</b> Resultados del contenido de plomo en fundición .....	82
<b>TABLA N°17A2</b> Resultados del contenido de plomo Laboratorio del área de minerales .....	83
<b>TABLAS LABORATORIO X</b>	
<b>TABLA N°18X1</b> Resultados del contenido de plomo en el suelo del área de Ensayos al fuego .....	84
<b>TABLA N°19X2</b> Resultados del contenido de plomo de blancos y laboratorio de minerales .....	86
<b>TABLA N°20X3</b> Resultados del contenido de plomo Fundición y copelación .....	88
<b>TABLAS LABORATORIO B</b>	
<b>TABLA N° 21 B-PR-1</b> Resultados del contenido de plomo en el área de preparación de concentrados. ....	89
<b>TABLA N° 22 B-PR-2</b> Resultados del contenido de plomo en el área de Laboratorio de minerales y blancos .....	90
<b>TABLA N°23B-PR-3</b> Resultados del contenido de plomo en el área de ensayos al fuego: fundición. ....	91
<b>TABLA N°24 B-PR-4</b> Resultados del contenido de plomo en el área de Ensayos al fuego: Copelación .....	93

<b>TABLA N°25B-PR-5</b> Resultados del contenido de plomo en el área de ensayos al fuego: fundición a 4m horno .....	94
<b>TABLA N°26B-PR-6</b> Resultados del contenido de plomo Blancos.....	95
<b>TABLA N°27B-PR-7</b> Resultados del contenido de plomo en el área de ensayos al fuego: fundición con extractor. ....	96
<b>TABLA N°28B-PR-8</b> Resultados del contenido de plomo blancos en el área Medio ambiente(blancos) .....	96
<b>TABLA N°29 B-PR-9</b> Resultados del contenido de plomo en el área de Minerales y material de vidrio .....	97
<b>TABLA N°30B-PR-10</b> Resultados del contenido de plomo en el área de ensayos al fuego: fundición sin extractor a 10;100; 200cm. ....	98
 <b>TABLA N 31B-PR-11</b> Resultados del contenido de plomo en el área de ensayos al fuego: fundición sin extractor a 10,100 y 200 cm..	100
<b>TABLA N°32B-PR-12</b> Resultados del contenido de plomo en el área de ensayos al fuego: fundición y copelación a 10;100;200;400cm .....	101
<b>TABLA N°33B-PR-13</b> Resultados del contenido de plomo en el área de muestreo de concentrados .....	103
<b>TABLA N°34 B-PR-14</b> Resultados del contenido de plomo en el área de ensayos al fuego: Piso .....	105
<b>TABLA N°35</b> Plomo emitido comparado en áreas de ensayos al fuego ....	109
<b>TABLA N° 36</b> Contenido de plomo comparativo por áreas.....	109
<b>TABLA N° 37</b> Comparativo de plomo fundición con y sin extractor 1 horno ..	111
<b>TABLA N°38A</b> Plomo 1 solo horno copelación con y sin extractor.....	111
<b>TABLA N°38B</b> Plomo Copelación-fundición 1 horno Vs 2 hornos.....	112
<b>TABLA N°39</b> Curva de calibración del rotámetro 1 .....	120

<b>TABLA N°40</b> Curva de calibración del rotámetro 2.....	120
<b>TABLA N 41</b> Curva de calibración del rotámetro 3 .....	121
<b>TABLA N°42</b> Curva de calibración del rotámetro 4.....	121

## LISTA DE FIGURA

<b>Figura N° 1</b> Dirección de la emisión de plomo.....	3
<b>Figura N° 2</b> Disposición de los hornos en los laboratorios .....	4
<b>Figura N° 3</b> Modelo Biológico del plomo.....	13
<b>Figura N° 4</b> Partes del sistema respiratorio .....	14
<b>Figura N°5</b> Enfermedades pulmonares.....	16
<b>Figura N° 6</b> Distribución del plomo en el organismo humano.....	17
<b>Figura N° 7</b> Modelo metabólico del plomo en el ser humano .....	18
<b>Figura N°8</b> Dirección de emisión plomo en los hornos .....	67
<b>Figura N°9</b> Zona de rechazo y aceptación de una prueba de hipótesis .....	70
<b>Figura N°10</b> Zona de rechazo de ensayo de hipótesis 2.....	72
<b>Figura N 11</b> Ensayo t de medias, copelación vs fundición: caso homogéneo .....	74
<b>Figura N°12</b> Zona de rechazo de ensayo de hipótesis 2 con valores ...	74
<b>Figura N°13</b> Zona de rechazo de ensayo de hipótesis 3.....	77
<b>Figura N°14</b> Ensayos de la “t” de medias y grados de libertad Caso heterogéneo .....	79
<b>Figura N°15</b> <i>zona de rechazo caso <math>\bar{x}_1 &lt; \bar{x}_2</math></i> .....	79
<b>Figura N°16</b> Muestreo del suelo del laboratorio X .....	85
<b>Figura N°17</b> Curva X1 lecturas de Pb, muestras del laboratorio X.....	87
<b>Figura N°18</b> Curva y resultados Tablas 19B-PR1 y 20 B-PR-2.....	89
<b>Figura N°19</b> Datos de curva y resultados Tablas 21B-PR-3 .....	92

<b>Figura N°20</b> Datos de curva y resultados Tablas 22B-PR-4 .....	92
<b>Figura N°21</b> Curva de calibración 3 y 4. Resultados Tabla 23 B-PR-5 ..	94
<b>Figura N°22</b> Curva 3 y resultados de tabla 25 B-PR-7 .....	95
<b>Figura N°23</b> Curva 5 y resultados tabla 27 B-PR-9 .....	97
<b>Figura N°24</b> Curva 6 y efecto de muestreo con dos hornos y resultados tabla 28B-PR-10 .....	99
<b>Figura N°25</b> Curva 7 y resultados de tabla 29B-PR-11 .....	100
<b>Figura N°26</b> Curva 8 y 9 resultados de tabla 30 B-PR-12 .....	100
<b>Figura N°27</b> Curva y resultados de tabla 31 B-PR-13 .....	104
<b>Figura N 28</b> Curva y resultados de tabla 32 B-PR-14.....	105
<b>Figura N 29</b> Escudo de protección al trabajador propuesto.....	107
<b>Figura N°30</b> Soporte de filtro para muestreo Plomo ocupacional.....	117
<b>Figura N°31</b> Rotámetro Cole Parmer 1-5LPM y su calibrador Tetracal	118
<b>Figura N°32</b> Certificado de calibración del calibrador Tetracal.....	118
<b>Figura N°33</b> Equipo de calibración de los rotámetros. ....	121
<b>Figura N°34</b> Curva calibración del rotámetro 1 .....	122
<b>Figura N 35</b> Curva calibración del rotámetro 2 .....	122
<b>Figura N°36</b> Curva calibración del rotámetro 3.....	123
<b>Figura N°37</b> Curva calibración del rotámetro 4.....	123
<b>Figura N°38</b> Disposición correcta del sistema muestreo de plomo ....	124

## **LABORATORIO A**

<b>Figura N°39 Foto 1A</b> Muestreo en el proceso de fundición .....	126
<b>Figura N°40 Foto2A</b> Muestreo en el proceso de copelación .....	127
<b>Figura N°41 Foto3A</b> Muestreo proceso copelación arriba y al costado .....	128

## **LABORATORIO B**

<b>Figura N°42,43,44, Foto4B ,5B,6B</b> Muestreo en el área de preparación de concentrados.....	129
<b>Figura N°45 Foto7B</b> Muestreo en el proceso de fundición .....	130

<b>Figura N°46 Foto8B</b> Muestreo simultáneo Hornos 2 y 3, copelación y fundición .....	131
<b>Figura N°47 Foto9B</b> Muestreo copelación simultánea.....	132
<b>Figura N°48 Foto10B</b> Muestreo copelación simultánea horno 3 (x,y,z) .....	133
<b>Figura N°49 Foto11B</b> Muestreo copelación simultánea horno 2 .....	134
<b>Figura N°50 Foto12B</b> Muestreo simultáneo copelación y fundición .....	135
<b>Figura N°51 Foto13B</b> Muestreo simultáneo a 4 m. Horno3.....	136
<b>Figura N°52 Foto14B</b> Muestreo simultáneo a 4 m. Horno2.....	137
<b>Figura N° 53 Foto15B</b>	
Muestreo simultáneo fundición horno3, encendido horno2.....	138
<b>Figura N° 54 Foto16B</b>	
Muestreo simultáneo fundición Horno 3 a 10;60;120 cm. ....	139
<b>Figura N°55 Foto17B</b>	
Muestreo simultáneo copelación Horno 3 a 10.100,200 cm .....	140
<b>Figura N°56 Foto18B</b> Muestreo simultáneo fundición a 10;100;200 cm .....	141
<b>Figura N°57bFoto19B</b> Muestreo simultáneo a 4 m. ....	142
<b>Figura N°58 Foto20B</b> Trasvase de crisoles.....	143
<b>Figura N°59 Foto21B</b> Precalentamiento de copelas.....	144
<b>Figura N°60 Foto22B</b> Introducción de botones en la copelación.....	145
<b>Figura N°61 Foto23B</b> Ataque de muestras.....	146

## LABORATORIO X

<b>Figura N°62 Foto24X</b> Muestreo blancos “aparentes” área de Geoquímica.....	147
<b>Figura N°63 Foto25X</b> Muestreo blancos “aparentes” área de Geoquímica.....	148
<b>Figura N°64 Foto26X</b> Muestreo fundición a 10 cm y a 2.7 m .....	149
<b>Figura N°65 Foto27X</b> Muestreo Copelación a 10 cm y a 2.7 m.....	150

## RESUMEN

Se verifica que la mayor contaminación de plomo es en el área de ensayos al fuego, y en el área de preparación de muestras debido a la condición subestándar de trabajo del material usado en el trabajo:

Area de ensayos al fuego: Uso de litargirio (100-250g)

Area de preparación de muestras: Minerales y concentrados de plomo, concentrados de minerales y en grado menor el área de análisis de minerales.

Debido a la condición subestándar del procedimiento de trabajo de altas temperaturas en fundición y copelación se emite mayor vapor de plomo. Las áreas colindantes tienen menor exposición y su contenido depende de la cercanía a las áreas anteriormente mencionadas y a posibles fugas de los ductos de extracción y limpieza del lugar.

Se verifica que al realizar la fundición y copelación se obtienen concentraciones muy altas de emisión de plomo.

Se verifica que en muchos casos la fundición sin extractor emite más contenido de plomo que en la copelación aún con el uso de un extractor de 4 m/s de velocidad.

Se verifica que cuando dos hornos trabajan en simultáneo se emite más contenido de plomo

Resultados laboratorio A sin extractor: Fundición y copelación hasta 101 y 3897  $\mu\text{g Pb/m}^3$  respectivamente: Laboratorio químico sin campana 2.47  $\mu\text{g Pb/m}^3$

Resultado laboratorio X: Piso, fundición y copelación :15000; 44 (sin extractor) y 19  $\mu\text{g Pb/m}^3$  (con extractor 2 m/s) respectivamente.

Resultados laboratorio B: Suelo, fundición y copelación :11000 ;60(sin extractor) y 47  $\mu\text{g Pb/m}^3$  (con extractor 4 m/s) respectivamente

Con dos hornos simultáneo: Fundición (sin extractor) 293 y copelación (extractor 4 m/s) 300  $\mu\text{g Pb/m}^3$  respectivamente. Mucho mayor que con 1 horno

Todas estos requerimientos son condiciones de sub estándar de trabajo

**Palabra clave:** Contenido de plomo en ensayos al fuego. Copelación y Fundición.



**ABSTRACT**

It is verified that the greatest lead contamination is in the fire assay area and in the sample preparation area, due to the sub-standard working condition of the materials used in the work:

Fire assay área: Use of litharge(100-250g)

Sample preparation área: Lead minerals and ores concentrates and to a lesser degree the mineral análisis área.

Due to substandard condition of high temperature working procedure in fusion and cupellation, more lead fumes are emitted.

The surrounding areas have less exposure and their content depends on the proximity to the previously areas and possible leaks from the extraction and cleaning ducts of the place.

It is verified that when it is realized fusion and cupellation very high concentrations of lead emission are obtained.

It is verified that in many cases the fusión or fundition without extractor emits more lead content than in the cupellation, even with it use of one extractor of 4 m/s of velocity

It is verified that when two furnaces work simultaneously, more lead content is emitted

Laboratory A results without extractor: Fusion and cupellation up to 101 and 3897  $\mu\text{g Pb} / \text{m}^3$  respectively.

Chemical laboratory without Hood: 2.47  $\mu\text{g Pb} / \text{m}^3$

Laboratory X result:

On the floor, fusion and cupellation: 15000; 44 (without extractor) and 19  $\mu\text{g Pb} / \text{m}^3$  (with 2 m / s extractor) respectively.

Laboratory B results:

On the floor, fusion and cupellation: 11000; 60 (without extractor) and 47  $\mu\text{g Pb} / \text{m}^3$  (with extractor 4 m / s) respectively

With two simultaneous furnaces: Fusion (without extractor) and cupellation (extractor 4 m / s) 293 and 300  $\mu\text{g Pb} / \text{m}^3$ , respectively.

Much larger than 1 oven.

All these requirements are substandard working conditions

Key word: Lead content in fire assay. Cupellation and fundition

## **CAPITULO 1: INTRODUCCION**

### **1.1 Situación Problemática**

El problema del trabajo industrial con plomo es universal, si se trabaja sin criterios de prevención e higiene ocupacional.

En los ensayos de determinación de oro y plata por fundición (ensayos al fuego "Fire Assay") se trabaja con Litargirio que es el óxido de plomo  $\text{PbO}$ , se tiene un riesgo alto de contaminación por plomo en los procesos de fundición.

El  $\text{PbO}$  tiene punto de fusión alto  $888^{\circ}\text{C}$ , se trabaja en el proceso de fundición a temperaturas entre  $1000-1100^{\circ}\text{C}$ , se producen vapores de plomo por la reducción del  $\text{PbO}$  a plomo ( $\text{Pb}$ ) de punto de fusión  $327^{\circ}\text{C}$ . Luego en la copelación del botón de  $\text{Pb-Ag-Au}$  parte del plomo se emite plomo en forma de humo metálico y una parte se oxida y se absorbe en la copela de óxido de magnesio. El valor máximo de plomo en sangre ( $\text{Pb-S}$ ) aceptado por la OMS es  $20 \mu\text{g/dL}$  y en el Perú hasta  $30 \mu\text{g/dL}$ .

El LMP (límite máximo permisible) del Perú según el anexo 4 del DS 055-2010-EM es de  $50 \mu\text{g/m}^3$ , para 8 horas, no existe el LMP para trabajos de menor tiempo como en los laboratorios de ensayos al fuego que son de 1 hora.

En un estudio realizado por la revista anales de la Facultad de Medicina en Lima a trabajadores industriales se encuentra niveles mayores a estos límites (Tabla N°1)

Tabla N°1 **Niveles de plomo en los trabajadores del sector industrial**

Tabla 1 . Niveles de plomo y hemoglobina séricos hallados en la población estudiada (n=41).					
Ocupación del trabajador	N°	Media Pb-S* ug/dL (± DE <sup>†</sup> )	Rango Pb-S* ug/dL	Media Hb† g% (± DE <sup>‡</sup> Hb)	Rango Hb† g%
<b>Adultos varones:</b>					
Fundidor	4	61,9 (± 9,0)	50,6 - 72,3	9,7 (± 0,81)	8,90 - 10,8
Soldador	5	60,14 (± 2,8)	56,9 - 62,7	11,4 (± 0,7)	9,60 - 11,2
Ensamblador	5	42,74 (± 2,5)	40,0 - 45,6	12,1 (± 1,2)	10,0 - 13,1
Turnero	6	30,75 (± 4,5)	25,9 - 36,4	11,5 (± 0,7)	10,6 - 12,3
Rejillador	5	40,46 (± 7,5)	33,1 - 50,0	11,3 (± 1,1)	10,2 - 13,0
<b>Total Trabajadores directos</b>	<b>25</b>	<b>45,9 (± 13,2)</b>	<b>25,9 - 72,3</b>	<b>11,1 (± 1,1)</b>	<b>8,90 - 13,1</b>
<b>Adolescentes:</b>					
Aprendiz	7	24,0 (± 9,2)	14,9 - 35,4	11,0 (± 1,1)	9,20 - 12,6
<b>Total Trabajadores varones</b>	<b>32</b>	<b>41,14 (± 15,2)</b>	<b>14,9 - 72,3</b>	<b>11,07 (± 1,2)</b>	<b>8,90 - 13,1</b>
<b>Mujeres:</b>					
Apoyo oficina	9	25,6 (± 10,3)	13,5 - 38,2	11,64 (± 1,0)	10,0 - 13,2
<b>Total Universo</b>	<b>41</b>	<b>37,7 (± 15,7)</b>	<b>13,5 - 72,3</b>	<b>11,22 (± 1,1)</b>	<b>8,90 - 13,2</b>

\* Plomo sanguíneo. † Hemoglobina. ‡ Desviación estándar de la media.

Fuente: An. Fac. med.,(2008 Junio), 69 (2) Lima

## 1.2 Formulación del Problema

### 1.2.1 Problema Principal

¿El contenido de plomo ocupacional de los laboratorios de ensayos al fuego se relaciona con las condiciones subestándar de trabajo de los mismos?

### 1.2.2 Problemas secundarios

¿Cuáles son las áreas más contaminadas por plomo en los laboratorios de minerales?

¿Cuál es la etapa del proceso de ensayos al fuego la de mayor contaminación ocupacional por plomo?

¿Qué condiciones subestándar de trabajo contribuyen en la contaminación ocupacional de plomo en el proceso de fundición en el área de ensayos al fuego?

### 1.3 Justificación Teórica de la Investigación

En los ensayos analíticos en la cuantificación de oro y plata denominado “Fire assay” (traducido del inglés ensayos al fuego) al trabajarse con grandes cantidades de plomo ocurre contaminación de plomo.

Se desea medir la cantidad de plomo emitida en el ambiente de trabajo.

Como el plomo se emite de los hornos, se tiene que medir el plomo emitido del horno en estudio.

La primera duda es ¿En qué punto del espacio del ambiente de trabajo se debe hacer la medición para poder suponer que el contenido emitido representa el plomo emitido del horno en estudio?

Por sentido común es muestrear lo más cerca posible a la puerta del horno en la dirección del flujo de plomo emitido, para evitar dilución de la concentración de plomo gas debido a la presencia del aire y del cambio de temperatura que permita la precipitación del plomo sólido.

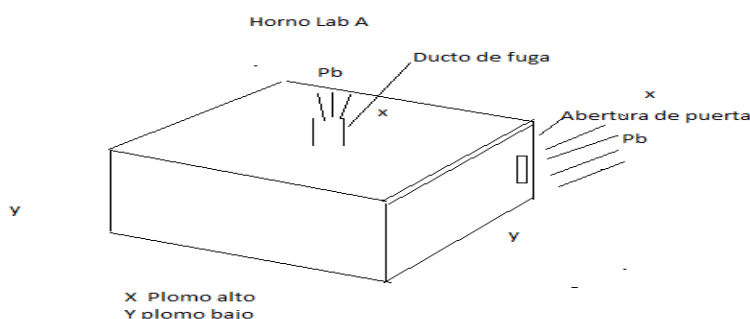


Figura N°1 **Dirección de la emisión de plomo Laboratorio A**

*Fuente propia*

La cantidad de plomo emitido depende de las condiciones de “cierre de la puerta” y de la capacidad de captación del sistema de extracción expresado como velocidad del flujo del extractor, que según Hall<sup>1</sup> recomienda velocidad del flujo del extractor 6 m/s.

Según resultados obtenidos hay otro parámetro que considerar:

Número de hornos trabajando simultáneamente, y la disposición de las puertas de ellos.

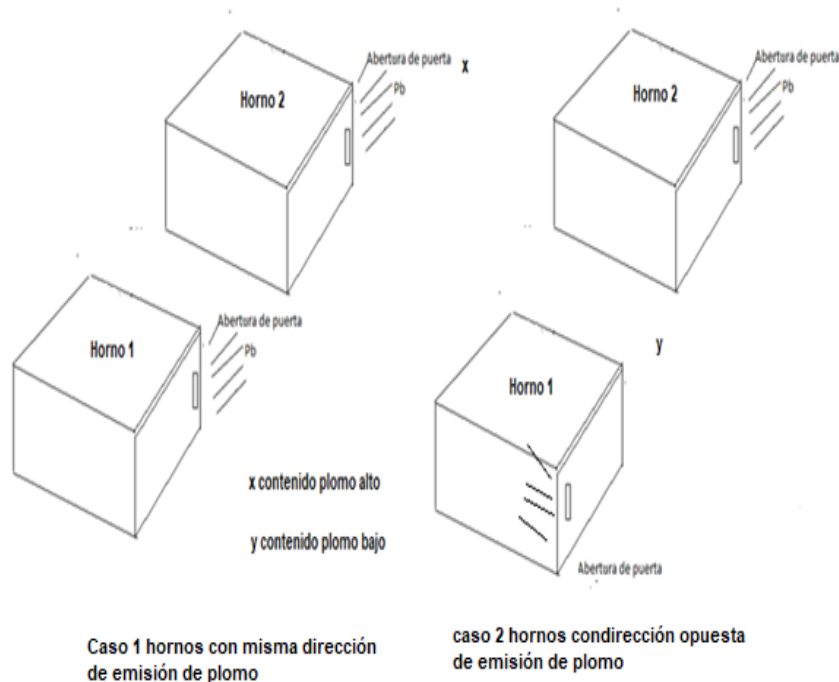


Figura N°2. **Disposición de los hornos en un laboratorio.**

*Fuente propia*

Los hornos pueden tener la entrada de la puerta en la misma dirección o en sentido contrario. Los hornos con puerta vertical no se han considerado. Cuando las puertas están en la misma dirección de emisión de plomo (caso 1) existe algún punto del espacio “x”, cual tendrá dos fuentes de emisión directa: Horno 1 y Horno 2.

<sup>1</sup>Hall, Ronald M. Engineering Control in Mine Assay Laboratories  
APPL.OCCUP.ENVIRO.HYG. 13(9) SEPTEMBER 1998

Cuando está la entrada de la puerta con dirección contraria de emisión de plomo (caso 2) habrá algún punto del espacio como “y”, cual tendrá ninguna fuente de emisión directa: Horno 1 y Horno 2.

Todos los casos posibles de disposición de los hornos deberían estar definidas por alguna norma.

Tampoco hay alguna norma nacional que fije la velocidad de flujo mínima que deberían tener los hornos usados en los laboratorios de ensayos al fuego.

Con respecto a los límites de exposición por plomo, en el ámbito nacional no hay consenso del tiempo de muestreo para dicho límite.

Por ejemplo, si la jornada laboral es de 8 horas en un laboratorio y supongamos que se realiza una fusión y una copelación con duración de 1 hora cada proceso con resultados de 100 y 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , lo correcto sería reportar el muestreo como  $(100+80) / 2 = 90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para todo el proceso de la muestra

Pero si solo se usa una vez el horno en las 8 horas de trabajo, como existe el límite ponderado de 8 horas de 75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , se tendría un reporte de muestreo de

$180/8=22.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con lo cual no excede el LMP de 75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , lo que no refleja la realidad de la situación: alta contaminación de plomo.

El D.S. 015-2005 SA sobre valores límites posibles solo hay para el valor ponderado (TLV-TWA) para 8 horas diarias, y no hay límite para exposiciones de corta duración (TLV-STEL)

## **1.4 Justificación Práctica de la investigación**

La evaluación e identificación de las condiciones subestándar de trabajo en el área de ensayos al fuego permitirá minimizar la exposición al plomo de los trabajadores.

Se beneficiará principalmente a los trabajadores de las empresas, los que en sus labores están expuestos a polvos o gases de plomo, debido a los ensayos realizados, se debe verificar condiciones de trabajo que minimice o elimine la contaminación de plomo con las condiciones de trabajo sub estándares y como recurso final de la condición del uso de respiradores lo cual no garantiza la no respiración de plomo por que los respiradores han sido fabricados para la fisonomía de trabajadores extranjeros y en el Perú no se realizan ensayos de fijación para garantizar la hermeticidad necesaria mínima de dichos respiradores en los analistas especialmente los de ensayos de fundición.

La mayoría de las publicaciones de muestreo en ensayos al fuego se realizan en el trabajador en sangre, orina y en huesos, nuestra intención es evaluar el contenido de plomo en los procesos de fundición y copelación en el ambiente de trabajo.

Identificaremos las condiciones subestándares que influyen en el contenido de plomo a evaluar entre las cuales las más importantes se tienen:

Uso de extractores, velocidad del extractor, fugas del horno, tipo de puerta del horno, número de hornos simultáneos en el muestreo, distancia de muestreo de la salida del horno.

El conocimiento obtenido sirve para elaborar condiciones estándar de trabajo para minimizar la contaminación de plomo en los trabajadores de fundición que trabajan con plomo en la medición de oro y plata.

Se realizarán muestreos de emisión de plomo en el área de trabajo anotando las condiciones de trabajo, carga de plomo, tiempos de exposición, velocidad de aire del extractor, entre otros.



Los métodos de ensayo de medición de la cantidad de plomo emitido se realizan con ensayos validados y equipos calibrados.

### **1.5 Justificación Metodológica Analítica de la investigación**

Para medir el contenido de plomo en forma válida y confiable se realizará el procedimiento de muestreo de Plomo ocupacional según norma española NTP 110 "Toma de muestras de metales (polvos y humos)" del Instituto Nacional de seguridad e Higiene en el trabajo.

Fundamento del método analítico: Un volumen de aire conocido se pasa a través de un filtro de membrana de ésteres de celulosa de 0.8 micras de poro. Se mide el volumen de aire muestreado por una bomba de vacío acoplado a un rotámetro de 1- 5 litros por minuto (LPM) (calibrado por un calibrador secundario con certificado de calibración vigente).

El filtro se trata en caliente con ácido nítrico concentrado para destruir la materia orgánica y solubilizar los elementos o compuestos metálicos presentes. Se completa la digestión, las muestras se evaporan cuidadosamente hasta sequedad, se disuelve el residuo con ácido nítrico al 10% (v/v) a 60-80°C, se enfría y se afora a 10 ml en fioles.

Se aspira la solución a una llama apropiada de un Espectrofotómetro de Absorción Atómica; cuyo equipo dispone de una fuente energética de radiación característica del metal a analizar.

Se usa nuevamente el material de vidrio que es reusable por lo cual se debe tener un protocolo de limpieza para obtener valores fidedignos, que se evaluará con los blancos. Todos los filtros son nuevos, así como los porta filtros. Para garantizar que las lecturas den señales con buena precisión se debe usar fioles que permitan señales que se encuentren dentro de la región de la zona cuantificable por ello se eligió volumen de 10 ml.

Se muestrea en la salida del horno en tres puntos: al centro, y a los lados laterales: izquierdo y derecho, y a diferentes distancias de la salida del horno. Los blancos ayudan a verificar la limpieza del material.

Se usan fioles de 10 ml para las lecturas de absorción atómica

## 1.6 Justificación legal de la investigación

Según La Ley General de Salud N° 26842, en el capítulo VII “De la Higiene y Seguridad en los Ambientes de Trabajo”, estipula, que quienes conduzcan o administren actividades de extracción, producción, transporte y comercio de bienes y servicios, cualesquiera que éstos sean, tienen la obligación de adoptar las medidas necesarias para garantizar la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores y terceras personas en sus instalaciones o ambientes de trabajo (Art. 100°), quedando claro que la protección de la salud y seguridad de los trabajadores es responsabilidad del titular de la actividad económica.

Se mostrarán algunos puntos a tomar en consideración para elaborar criterios para evaluar las condiciones de trabajo que sean de carácter obligatorio que garanticen la menor probabilidad de que los trabajadores lleguen a sufrir riesgos de enfermedades ocupacionales por plomo.

En el Perú no hay legislación específica para evitar la contaminación por plomo en los laboratorios de ensayos al fuego.

En el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería **Decreto Supremo 024-2016-EM subcapítulo IV Instalaciones metalúrgicas**  
**Artículo 327 establece:**

- a) En todos los hornos se cuidará que el cierre de las puertas se haga de un modo hermético para evitar en lo posible la fuga de gases o de humos nocivos al ambiente.
- b) En todos los lugares en que haya desprendimiento o que se produzcan polvos, gases o humos, se colocará campanas extractoras para evitar que dichas sustancias contaminen el ambiente de trabajo.

c) En los lugares en que algún reactor piro metalúrgico susceptible de producir emanaciones de gases tóxicos o polvos nocivos se dispondrá, además de las campanas extractoras, sistemas de control que no exceda el límite del ANEXO N°15. El TWA media ponderada para jornada de 8 horas de  $0.05 \text{ mg/m}^3$ .

d) Los dispositivos de medición de emisiones deben ser limpiados con frecuencia, sin contaminar a los trabajadores

No dice nada sobre las condiciones de trabajo estándar para laboratorios de Ensayos al fuego para el análisis de oro y plata.

Solo se encuentran normas extranjeras: para ensayos al fuego

El promedio ponderado de 8 horas para NIOSH para el plomo (TWA de 8 horas) es de  $0.075 \text{ mg/m}^3$ ; se deben mantener las concentraciones de aire para que los niveles de plomo en la sangre del trabajador se conserven en menos de  $0.060 \text{ mg Pb/100 g}$  de sangre.

El PEL (límite de exposición permitida) de OSHA (TWA de 8 horas) es de  $0.050 \text{ mg/m}^3$

Estas normas tienen algunas deficiencias para el plomo ocupacional:

- No específica a que distancia de la fuente debe hacerse la medición.

- Que límite usar si el trabajo es menor de ocho horas

Normalmente el proceso de fundición y copelación son de 1 hora.

Para minimizar la emisión de plomo, se debe tomara en cuenta:

- Condiciones de trabajo: Uso de campana extractora

- Condiciones del Equipo: Horno con mínimas fugas, campanas con velocidades de extracción mayores a  $6 \text{ m/s}$ , ancho de campana hasta  $12 \text{ cm}$ , limpieza de los hornos, entre otros

## **1.7 Objetivos**

### ***1.7.1 Objetivo general***

Relacionar que el contenido de plomo expuesto a los trabajadores de los ensayos al fuego con las condiciones subestándar en los laboratorios del Perú.

### ***1.7.2 Objetivos específicos***

#### ***1.7.2.1 Objetivo específico 1***

Determinar si el área de mayor contaminación por plomo en los laboratorios de minerales son las áreas de ensayos al fuego y de muestreo.

#### ***1.7.2.2 Objetivo específico 2***

-Determinar que etapa en el proceso de ensayos al fuego es de mayor contaminación de plomo.

#### ***1.7.2.3 Objetivo específico 3***

-Evaluar la relación del contenido de plomo emitido en la fundición con la condiciones sub estándar de trabajo de velocidad del extractor en el área de ensayos al fuego y número de hornos simultáneos en operación (caso favorable)

Nota: Caso favorable es el caso que las puertas están en el mismo sentido, por lo que la emisión de plomo de ambos hornos se refuerza.



## CAPITULO 2: MARCO TEORICO

### 2.1 Marco Histórico de la investigación

El uso de plomo para obtención de metales precisos oro y plata se conoce desde épocas muy antiguas como en la edad el hierro.

El origen de la utilización de copelación para el análisis no se conoce. Una de las primeras referencias escritas a copelas es *Theophilus Divers Ars* en el [siglo XII a. C.](#)([J.G.Hawthorne & C.S.Smith,1963](#)) El proceso cambió poco hasta el siglo XVI.

Se tiene evidencia desde el renacimiento en el siglo XVI. [Georg Agricola](#)(*De Re Metallica*<sup>2</sup> 1556, Book IX,pág.358 ) y [Lazarus Ercker](#)<sup>3</sup> (*Treatise on ores and Assaying* 1580 Book II Assaying), escribieron sobre el arte de la minería y la prueba de minerales, así como descripciones detalladas de copelación. El científico canadiense [Jerome Nriagu](#),(1983) afirma “que la caída del Imperio Romano se produjo por la intoxicación con plomo a través de los alimentos y el agua, pero principalmente del vino” *The New England Journal of Medicine* March, 1983.(pág.660)

A pesar de ser una de las enfermedades laborales más antiguas, no se cuentan con las medidas de protección adecuadas para los trabajadores expuestos, debido al poco interés de evitar dicha contaminación y a que los trabajadores no tenían derechos para su protección de salud.

Recién en el siglo XX los trabajadores obtuvieron derechos en salud ocupacional, se realizaron estudios del comportamiento del plomo en el ser humano.

<sup>2</sup> De Re Metallica ,Georg Agricola (2004) Editorial Tarahumara Madrid,,España 707 págs

<sup>3</sup> Treatise on ores and Assaying,Lazarus Ercker Edt. University of Chicago Press 1951

### 2.1.1 Toxicología del plomo

(Tomado de M.Valdivia Rev.Soc.Per.Med.Inter. 18(1) 2005, págs.22-27)

Se inicia con la respiración del plomo y se absorbe por el tracto gastrointestinal. La absorción de la piel por plomo inorgánico es baja, no así para el plomo orgánico, que se absorbe según su forma, tamaño, tránsito gastrointestinal, estado nutricional y la edad; a menor tamaño hay mayor absorción de plomo, y si hay deficiencia de hierro y/ o calcio, si hay gran ingesta de grasa, si el estómago está vacío y si se es niño, (tienen absorción de plomo entre 30 a 50 %) que en el adulto es de 10%. Ver modelo biológico del plomo se ve en la Figura N°3.

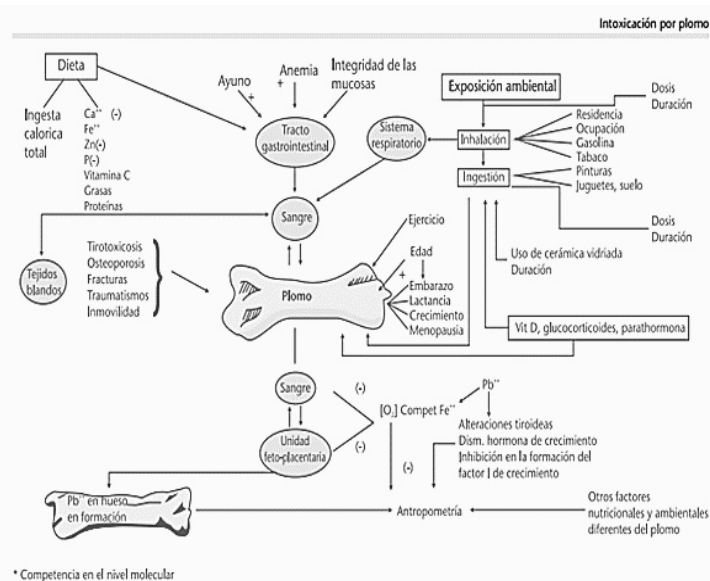


Figura 3 Modelo biológico del plomo. (Tomado de Sanin, Helena y cols. Acumulación de plomo en huesos y sus efectos para la salud. Salud Pública Mex 1998; 40:359-368).

### Figura N° 3. Modelo Biológico de plomo

Fuente. Sanin, Helena y Cols. Acumulación de plomo y huesos y sus efectos para la salud. Salud Pública Mex. 1998;40:359-368

Al sorberse el plomo ya sea por respiración nasal o bucal, una parte va a los pulmones y la otra al sistema gastrointestinal.

\*M.Valdivia Infantas Rev.Soc.Per.Med.Inter. 18(1) 2005

Según el centro canadiense de seguridad y salud ocupacional (CCSSO) [2] los factores que influyen en la deposición de las partículas son de acuerdo a la figura 4 y tabla 2.

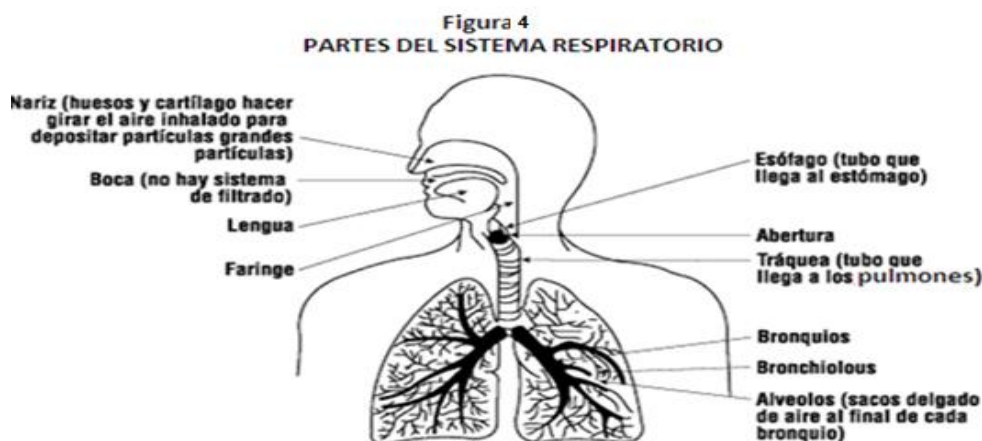


Figura 4: **Partes del sistema respiratorio**

*Fuente: Centro canadiense de seguridad y salud ocupacional (CCSSO), Efecto del polvo en los pulmones, 2009 pág. 50.*

**TABLA N°2 Factores de deposición de plomo**

Factores que influyen en la deposición de partículas en el sistema respiratorio				
Tamaño de la partícula	Área del sistema respiratorio con más probabilidad de depósito	Método de deposición	Cambio direccional del movimiento del aire	Velocidad del aire
5 - 30 $\mu\text{m}$	Región Naso-faríngeal (vías aéreas superiores: nariz y garganta)	Impacto	Muy abrupto	++++
1 - 5 $\mu\text{m}$	Tráquea, Región Bronquial y Bronquiolar (tráquea y las ramas más grandes de los pulmones)	Sedimentación	Menos abrupto	+++ + ++
1 $\mu\text{m}$ o menos	Región Alveolar (Ramas más pequeñas del pulmón y áreas de intercambio del aire)	Difusión	mediano	+ a 0

*Fuente: Louis J. Casarette y J. Doll, Toxicología la ciencia básica de los venenos, Ed. Curtis D. Klassen 3era Ed.. 1986, Mc.Graw Hill, pag.343*

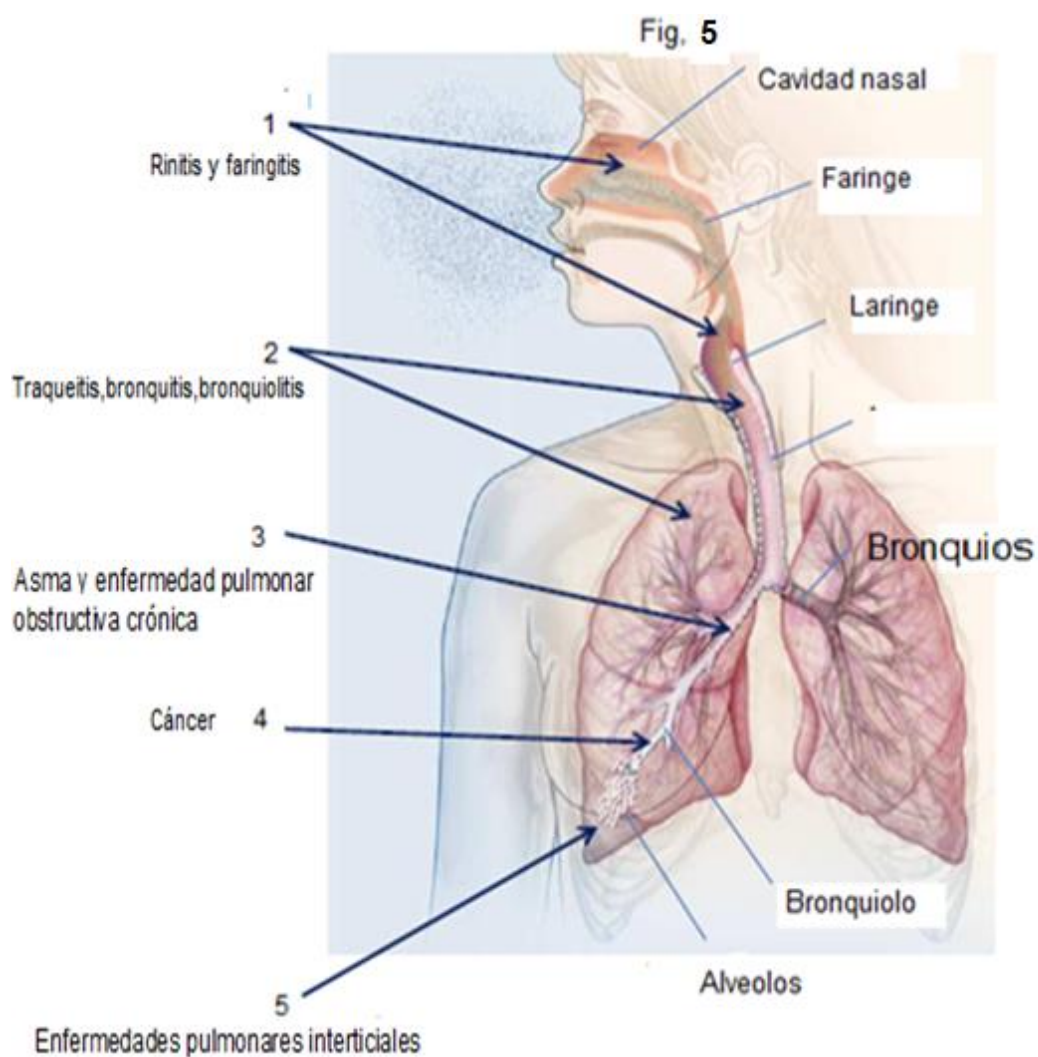
La deposición de partículas y las posibles enfermedades dependen del tamaño de las partículas, como se ve en la figura N°2.



Rinitis faringitis (debido a partículas más grandes de  $100\text{ }\mu\text{m}$  y gases como el  $\text{SO}_2$ ); traqueitis, bronquitis y bronquiolitis (partículas mayores a  $10\text{ }\mu\text{m}$  de diámetro son depositadas en los bronquios y bifurcaciones); asma y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (alérgenos e irritantes son depositados por grandes vías de aire por flujo turbulento causando cambios crónicos inflamatorios en bronquios y pulmones); cáncer (carcinógenos como asbestos e hidrocarburos aromáticos en contacto con las células epiteliales bronquiales causando mutación en los proto-oncogenes y genes de supresores de tumores, dicho contacto produce una transformación maligna para la salud enfermedades pulmonares intersticiales (Pequeñas partículas menores a  $10\text{ }\mu\text{m}$  y fibras son depositadas en los terminales bronquiales, ducto alveolar, y alveolos. (Ver figura N°5)

La penetración a los intersticios resulta en fibrosis y formación de granulomas. El plomo gas al ser menor que  $1\text{ }\mu\text{m}$  llegan hasta la región alveolar y en los intersticios pulmonares.

En la parte final abajo de los bronquios están los alvéolos, que es donde se absorbe el oxígeno. Estos sacos de aire se expanden con cada respiración. debido a la contaminación por plomo ocurren enfermedades pulmonares y, este tejido se vuelve rígido o cicatrizado, y los sacos de aire no pueden expandirse tanto. Por lo tanto, una cantidad menor de oxígeno llega al cuerpo.



**Figura N°5 Enfermedades pulmonares**

*Fuente: Dr. Farmer. L. G., "Epidemiología de la enfermedad profesional", Sigweb, Universidad de Chile, 2006*

Luego de su absorción el plomo se distribuye en compartimentos, ver Figura 6<sup>3</sup>, en primer lugar como tiene el plomo tamaño menor de  $1\mu\text{m}$  al estar en fase gaseosa se deposita en la región alveolar y la sangre desoxigenada que circula se oxigena y 95% del plomo absorbido se une a los glóbulos rojos o eritrocito.

El corazón tiene dos circuitos circulatorios

- i) El circuito Mayor
- ii) El circuito pulmonar

El **circuito mayor** lleva sangre oxigenada por las arterias desde el corazón a los tejidos y la regresa desoxigenada por las venas al corazón.

El **circuito pulmonar** lleva la sangre desoxigenada por las arterias del corazón a los pulmones y la devuelve oxigenada y contaminada con plomo (en nuestro caso) a través de las venas otra vez al corazón luego se distribuye a los tejidos blandos como hígado, riñón, médula ósea y sistema nervioso central que son los órganos blanco de toxicidad, luego de 1 a 2 meses el plomo difunde a los huesos donde es inerte y no tóxico. El metal puede movilizarse del hueso en situaciones como inmovilidad, embarazo, hipertiroidismo, medicaciones y edad avanzada

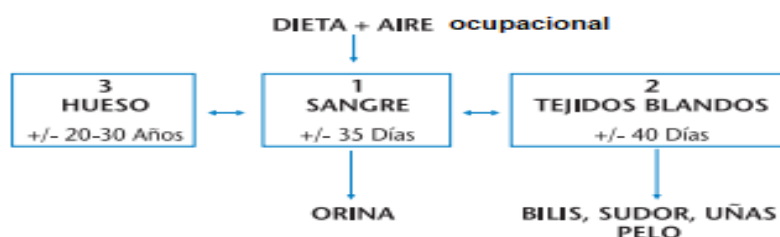
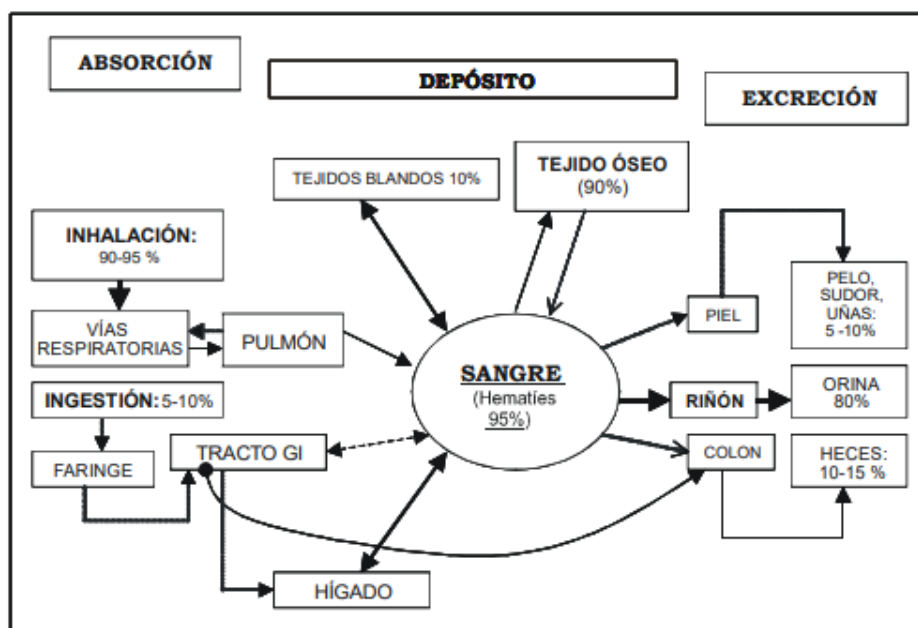


Figura 6 Distribución del plomo, modelo de los tres compartimentos en el organismo humano (tomado de Ellenhorn, 1998)

### Figura N° 6 Distribución del plomo

Fuente: Ellenhorn 1998

<sup>3</sup>Melinda Valdivia Rev. Soc. Per. Med. Inter. 18(1) 2005, pág. 23



**Figura N°7 Modelo metabólico del plomo en el ser humano**

*Fuente: Augusto V. Ramírez Anales Facultad Medicina. Lima 2005; 66(1)*

#### **2.1.1.1 MECANISMOS DE ACCION**

El plomo tiene gran afinidad por los grupos sulfuros, el plomo compite en reacciones con el calcio en el cuerpo humano, especialmente cuando el ion calcio está en concentraciones bajas, el ion plomo compite el ion calcio de las siguientes formas:

- Reemplaza al ion calcio alterando la distribución de este ion dentro de la célula.
- Reacciona con la proteína quinasa C, una enzima que reacciona en múltiples procesos intracelulares.
- Se une a la calmodulina más intensamente que el calcio, ésta es una proteína reguladora importante.
- Inhibe la función bomba de Na-K-ATPasa, que expulsa sodio e ingresa potasio, causando alteración del calcio causando la hipertensión y la neurotoxicidad.

**Tabla 3. Clínica de la intoxicación por plomo.** (Modificado de Kosnett, Michael) «Lead» en Ford, Delaney, Ling y Erickson editores: *Clinical Toxicology*. WB Saunders, 1ra edición, 2001)

Tabla N°3 **Clínica de intoxicación por plomo**

Sistema	Toxicidad
Sistema nervioso central	Fatiga, malestar
	Iritabilidad, ánimo deprimido
	Disminución de la libido
	Alteración de la función neuropsicológica
	Cefalea
	Tremor
	Encefalopatía (delirio, ataxia, convulsión, estupor, coma)
Sistema nervioso periférico	Debilidad motora (Figura 5)
Gastrointestinal	Anorexia
	Náusea
	Constipación
	Pérdida de peso
	Dolor abdominal
Sangre (hem)	Ribete de Burton (Figura 6)
	Anemia (hipocrómica; microcítica o normocítica)
	Punteado basófilo (Figura 7)
Renal	Insuficiencia renal crónica
	Nefritis intersticial
	Proteinuria leve
Reumatológico	Mialgias, artralgias
	Gota

*Fuente: «Lead» en Ford, Delaney, Ling y Erickson editores: Clinical Toxicology. WB Saunders, 1ra edición, 2001)*

En el riñón interfiere con la conversión de la vitamina D a su forma activa, s, produce una tubulopatía, que en estadios llega a atrofia tubular y fibrosis sin compromiso glomerular, caracterizándose por una proteinuria selectiva.

En niños produce un síndrome con amino aciduria (exceso de aminoácidos en la orina), glucosuria (exceso de glucosa en la orina), e hipofosfatemia (concentración baja de fosfatos al reaccionar con el plomo)

Produce varias funciones del sistema nervioso central, principalmente porque el plomo altera en muchos pasos el metabolismo y función del calcio como explicamos previamente. El plomo se acumula en el espacio en el cerebro (en nervios periféricos) causando edema (saturación de un líquido), aumento de la presión en dicho espacio y finalmente daño axonal (daño a la materia blanca del cerebro).

### 2.1.2 MARCO TEORICO

Algunas propiedades físicoquímicas del metal Plomo

Tabla N°4 **Propiedades físicoquímicas del plomo**

Propiedades físicas y químicas del plomo	
<b>Número atómico</b>	82
<b>Valencia</b>	2;4
Estado oxidación común	2
Electronegatividad	1.9
Radio covalente(A)	1.47
Radio iónico (A)	1.2
Radio atómico (A)	1.75
Configuración electrónica	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>2</sup>
1er Potencial de ionización (eV)	7.46
Masa atómica g/mol	207.2
Punto de ebullición(°C)	1749
Punto de fusión (°C)	327.46
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	11342(20°C)
Número atómico	82
Color	Blanco-azulado
Características	Flexible e inelástico

Fuente:

[www.xtec.cat/.../bscw.gmd.de\\_bscw\\_bscw.cgi\\_d32876166-1\\_Pb\\_2propiedades.ht..](http://www.xtec.cat/.../bscw.gmd.de_bscw_bscw.cgi_d32876166-1_Pb_2propiedades.ht..)

### 2.1.3 Procesos en ensayos al fuego:

i) Tratamiento del mineral:

Secado-molienda-pulverizado-homogenización

ii) Pesada de la muestra-preparación de la carga

La carga usa litargirio PbO.

iii) Fundición de la muestra con PbO a 800-1000°C

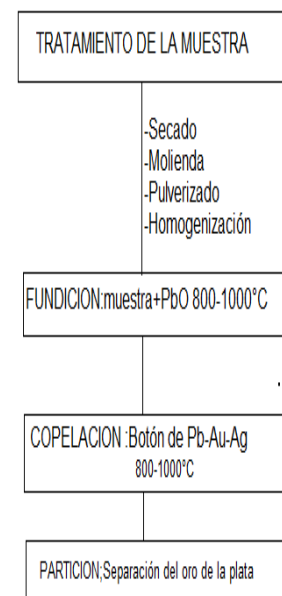
Se obtiene un botón de Plomo-plata-oro(Pb-Ag-Au)

iv) Copelación del botón Pb-Ag-Au

Se separa el plomo en la copela quedando el doré de oro y plata(Au-Ag)

v) Partición del doré de Au-Ag

Separación del oro de la plata



### Esquema del proceso

Diagrama de flujo del proceso

En los ensayos de fundición para la determinación de metales preciosos (principalmente oro y plata) se producen humos metálicos de plomo.

Ensayo al fuego (Fire Assay) es un ensayo de la química analítica aplicado para la determinación cuantitativa de metales preciosos (oro, plata, platino, rodio, paladio, entre otros) en muestras de minerales, aleaciones, productos de fundición.

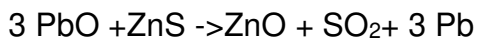
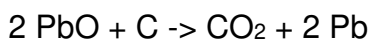
Se empieza con el secado, preparación y pesado de la muestra.

Se Prepara la carga del fundente "Flux".

El contenido de los reactivos en el flux depende del tipo de muestra y de la presencia de sulfuros, pero todos llevan como reactivo de mayor proporción el litargirio PbO (más del 75 %) el cual actúa como agente oxidante y desulfurante y como agente colector del oro, plata y otros metales preciosos, sílice, bórax, nitrato y carbonato de potasio, harina (produce carbón). Se produce contaminación de plomo en forma de polvo de PbO.

La contaminación por plomo en esta etapa se minimiza por el uso de un área ventilada y por el uso de equipos de protección personal.

El litargirio PbO se usa por sus propiedades oxidantes y desulfurantes



Se usa la sílica para prevenir el deterioro del crisol de fundición.

Se sigue luego con la fundición preliminar y fundición final.

En este procedimiento se funde la muestra con el “Flux” en crisoles de grafito y carburo de silicio formándose el botón de plomo que contiene a los metales preciosos y una escoria silicosa con los otros componentes, la cual se separa por martilleo.

La fundición se realiza a temperaturas entre 800-1000°C, se producen vapores de plomo gaseoso. Se obtiene el botón de plomo-plata-oro

Se realiza luego la copelación.

La copelación es una fundición realizada del botón de plomo- oro-plata obtenida en la fundición, en recipientes llamados copelas, compuestas de cenizas de hueso que contiene óxido de magnesio, el cual absorbe el plomo dejando libre al metal precioso (doré).

Ejemplo en el caso de la plata El plomo se funde a 327 °C, el óxido de plomo a 888 °C y la plata a 960 °C. Para separar la plata se funde el botón de plomo a alta temperatura, de 960 °C a 1000 °C, en un ambiente oxidante.

El plomo se oxida para dar lugar al **monóxido de plomo**, entonces conocido como **litargirio**, que captura el oxígeno de los otros metales presentes. El óxido de plomo líquido se elimina o se absorbe por **la acción capilar** en los revestimientos de la copela.

Esta reacción química puede considerarse como:



Se observa la formación de plomo como en la fundición.

Luego se realiza la partición que consiste en la separación química del oro de la plata del doré obtenido en la copelación mediante el ácido nítrico y en algunos casos el ácido sulfúrico.

No hay contaminación de plomo en la partición.



En la normatividad peruana no existen condiciones estándares de trabajo en salud ocupacional para evitar la contaminación por plomo de los trabajadores.

En las condiciones sub estándar de trabajo por sentido común se deben usar extractores para captar los gases emitidos.

.

El procedimiento de trabajo en la fundición no está normalizado en el trabajo del Perú respecto a: las condiciones que deben cumplir dichos extractores para

minimizar o anular la emisión de plomo al área de trabajo ocupacional; tipo de diseño recomendado; número de extractores.; frecuencia de limpieza en el lugar de trabajo (área de trabajo y el ducto del extractor); uso de mascarillas y pruebas de fijación de las mascarillas.

Se destaca el reciente estudio de (Spies. A., Wilson K.Ferri R.2011) [17], efectuado en trabajadores sudafricanos. Se trabajó con 29 trabajadores de ambos sexos, con un solo modelo de mascarilla

Se usa para medir el ajuste de las mascarillas el Porta Count®, equipado con la tecnología N95 Companion TM.

Resultados: 13.8% de éxito(cada trabajador realiza el test dos veces).

Conclusión: Condiciones antropométricas influye en el ajuste de mascarillas

Otro estudio interesante de (Coffey C.,Lawrence. R, Campbell D., Zhuang Z., Calver C;Jensen P. 2004) [5], se ensayas 18 modelos de mascarillas.

Pruebas de ajuste: tres cualitativas (Bitrex®, Sacarina y Aerosol) y dos cuantitativas (Portacount Plus y PortaCount® Plus N95 CompanionTM)

Población: 25 personas. En total se obtienen 449 ensayos, los que se presentan en la tabla 5:

**Tabla N°5 Ensayos de ajuste de mascarillas**

Ensayos de ajuste	% Pruebas superadas
Bitrex	33
PortaCount® Plus	16
PortaCount® Plus N95 Companion™	31
Sacarina	25
Aerosol	12

*Fuente: Coffey C.,Lawrence. R,Campbell D.,Zhuang Z.,Calver C, Jensen P. (2004)*

Se concluye que la mascarilla usada como protección personal debe probarse inicialmente para verificar la eficacia de la protección respiratoria. con alta probabilidad de no ser adecuadas ya que son fabricadas por empresas extranjeras para tipo de raza diferente al hombre peruano (no hay legislación en el Perú para ensayos de fijación de mascarillas de protección respiratoria). Por otro lado la asimilación de plomo no solamente puede ser debida a las vías respiratorias, pueden ser absorbidas las partículas de plomo por vía cutánea: piel y pelo.

El plomo causa daños en los órganos de reproducción en los seres humanos, causa cáncer especialmente al riñón (plomo inorgánico) como se verifica en el artículo de Javier Morán Martínez en la publicación ISSN2395-8057 “LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y OCUPACIONAL POR PLOMO Y SUS EFECTOS EN LA SALUD REPRODUCTIVA MASCULINA, EVIDENCIA DE DAÑO AL ADN”<sup>4</sup>. Se evaluará la emisión de plomo respecto a la velocidad del flujo de aire del extractor para obtener valores mínimos de emisiones del contaminante (extractor en la puerta de entrada del horno), para obtener valores aceptables o nulos de emisión de plomo, por lo cual se reduce riesgo de contaminación por Saturnismo en los analistas.

Los muestreos serán Vapores de Plomo como partículas en filtros.

<sup>4</sup>Moran Martinez J.(2012) Revista Interamericana de las ciencias de la salud

## 2.2 Antecedentes de la investigación

**2.2.1.” Exposición ocupacional a plomo inorgánico en una imprenta de la Ciudad de México” del contenido de plomo en trabajadores en sangre, manos, huesos y ambiental.** Por Aguilar G. (1999) [3].

Se Describió las condiciones de exposición ocupacional a plomo y sus indicadores biológicos entre los trabajadores de una imprenta.

Se realizó una investigación ocupacional, se midió el plomo en aire y en manos se les tomó muestra de sangre venosa os para la determinación de plomo en sangre (Pb-S) total por medio de espectrofotometría de absorción atómica, y se mide el contenido de plomo en los huesos (PbH), con un detector 109 de rayos X-K-fluorescentes.

Se midieron cantidad de plomo ponderado en tiempo (CPT) de las partículas de plomo inorgánico en el aire, en la zona de trabajo de los trabajadores (muestras personales), según normas oficiales mexicanas NOM-010 y NOM-033 de la Secretaría de Trabajo y Previsión Social. (STPS)

### Resultados

Mujeres  $\mu\text{g}/\text{DL}$ : Pb-S 9.0; PbH Cort.11.68; PbH Trabe.29.94

Hombres  $\mu\text{g}/\text{DL}$ : Pb-S14.23; Pb-H Cort.34.10; Pb-H Trabe.53.64

Flujo de monitoreo a 2 l/min(veriifcación). Los filtros de captura fueron de éster de celulosa de 37 mm de diámetro, con poro de 8 micras, y estaban montados en una almohadilla de soporte marca SKC e introducidos en un portafiltros.

Las concentraciones promedio de plomo fueron: en aire, de  $0.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; en manos antes del lavado, de  $6\ 802 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , y en manos después del lavado, de  $194 \mu\text{g}/\text{m}^2$  ; en sangre total, de  $12.3 \mu\text{g}/\text{dL}$ , y en tibia y rótula, de 25.9 y 43.3  $\mu\text{g Pb/g}$  hueso mineral, respectivamente.

## **Conclusiones**

Como es general en el mundo, para evaluar la contaminación de plomo, se evalúa su contenido en sangre, y luego en huesos, pero en mi opinión se debería evaluar la emisión de plomo en la fuente frecuentemente.

### **2.2.2. Tesis “EVALUACIÓN DEL PLOMO PRESENT EN CADA ETAPA DEL PROCESO DE LA DETERMINACIÓN ANALÍTICA DE ORO Y PLATA EN UN LABORATORIO METALÚRGICO”**

Realizada por Mérida M. (2013) [11]

## **Resumen**

Se muestrea el contenido de plomo en los dos procesos en la determinación de oro y plata por vía clásica: en la fundición y la copelación

Se determina el plomo presente en cada etapa del proceso: absorción en copela, contenido de plomo en la escoria, contenido de plomo en el botón de oro y plata (No se evalúa el contenido de plomo en el suelo del laboratorio)

Se hará un balance de masa por carga de litargirio en cada etapa crítica: Fusión y copelación.

Se evalúa el plomo que queda en cada caso (fusión y copelación) y el plomo emanado a la atmósfera.

## **Resultados:**

El ensayo requiere entre 100-210 g de litargirio por muestra.

Plomo perdido en fusión 4% entre 3.71-7.79 g de plomo por muestra:

Parte se va al ambiente fuera de la empresa por el extractor, una cantidad se deposita en él y parte al laboratorio. Plomo perdido en copelación 2% entre 1.85-3.9 g de plomo por muestra Plomo absorbido crisol 30% y 64% va al ducto de salida y al exterior

## Conclusiones

1. El proceso fundición y copelación (para Ag y Au) tiene pérdidas inferiores al 10 % total de plomo al ambiente ocupacional
2. El %de recuperación de  $PbO_2$  en el proceso de copelación (copela absorbente) fue del 98 % .
3. El Doré (aleación de oro y plata) tiene menos del 1 % de plomo de carga.
4. Como la carga de plomo es mayor en la fundición que en la copelación, se verifica que los residuos en fundición tienen más plomo que en la copelación.
5. La pérdida de Pb en el área de fusión es el 4 % de plomo total.
6. La pérdida de plomo en la oxidación es un 3 % aproximadamente

**2.2.3 Tesis “Estudio sobre la verificación de condiciones ambientales seguras en el manejo de concentraciones altas de plomo en pruebas de ensayo al fuego para la determinación de oro y plata”** elaborada por Argueta H. (2014) [4]:

## Resumen

Se evalúa la pérdida de plomo que se distribuye en tres partes: La que va al ambiente externo, la que va al ambiente interno y la que se deposita en el ducto del extractor, en los dos casos (fusión y copelación)

Se determinó la concentración de plomo en la fundición y copelación de oro y plata.

Se Evaluó el lavador de gases del laboratorio para evitar la contaminación de plomo al ambiente exterior.

Se determinó la concentración de plomo en el ambiente de trabajo donde se realiza el análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego.

Se Propuso alternativas de seguridad para el trabajo seguro en el análisis de oro y plata por el método de ensayo al fuego.

Se evaluó lavador de gases en cuatro puntos específicos:

El ducto que sale de la mufla, el reservorio de aspersion de agua, el tanque de agua y la chimenea de salida

- Concentración de plomo en el ambiente de trabajo.

Para ello se colocarán filtros en diferentes partes del ambiente de trabajo. en frente de la mufla y a 1 metro de cada lado de la *mufla tanto en la fundición como en la copelación*

- Verificación de concentración de plomo en los residuos sólidos

## Resultados

-Pérdida de plomo en fundición 0%(reservorio de aspersión +tanque de agua+ chimenea de gases de salida =ND= No detectado)

-Contenido de plomo en copelación: En el ducto de salida de los gases por el proceso de copelación: 4.72 ppm

En el reservorio de aspersión por el proceso 0.09 ppm

Tanque de agua es 0.09ppm

Contenido de plomo en la chimenea de salida del lavador de gases por el proceso de copelación 0.36 ppm

Concentración de plomo por filas en el ambiente interno de trabajo por el proceso de fundición 0.052 ppm.

Concentración de plomo por columnas en el ambiente interno de trabajo por el proceso de fundición 0.173 ppm

Balance de Pb: Pérdidas en fundición

Ambiente interno 0%; Ambiente externo 3.51%; Ducto de salida 96.49%

Balance de Pb en pérdidas en el ambiente por el proceso de copelación:

Ambiente interno 8.47%; Ambiente externo 0.19%

Ducto de salida 91.33%

## Conclusiones

1-El absorbedor de gases en el área ensayo al fuego: absorbe el 92 por ciento del plomo que pasa por él.

2. Mayor contaminación de plomo en el proceso de copelación.

3. La concentración de plomo en el ambiente de trabajo, sobrepasa los límites máximos permitidos.

4.Según corrientes de aire en el lugar La contaminación de Pb en el ambiente de trabajo es diferente

#### **2.2.4 Trabajo de investigación “Intoxicación ocupacional por plomo en diversos grupos Trabajadores del cercado de Ica”**

Acaro F. (2014) [1]

**RESUMEN:** En el Perú, no existe una normativa en los lugares de trabajo para la exposición al plomo. Los trabajadores a están en riesgo de exposición al plomo y pueden enfermar de saturnismo.

Se mide la concentración de plomo en la *sangre* en trabajadores expuestos a plomo del cercado de Ica.

Estudio de tipo observacional y transversal, abarca a trabajadores de la industria gráfica, automotriz y gasolineras de la ciudad de Ica (Perú)

Muestreo de Enero a Junio del 2009. La información es sobre protección personal y hábitos higiénico-laborales en trabajadores de dicha ciudad, se obtuvo por entrevista directa a 30 trabajadores.

El plomo sanguíneo para medirlo, se utilizó espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito.

**Resultados:** Los trabajadores de imprenta presentan un valor de plomo en sangre (46,30  $\mu\text{g/dL}$ ), seguido por los trabajadores de mecánica automotriz (27,90  $\mu\text{g/dL}$ ) y expendedores de gasolina con un (26,60  $\mu\text{g/dL}$ ).

**Conclusión:** Los resultados del estudio han demostrado claramente que los niveles de plomo sanguíneo de los trabajadores de imprenta de la ciudad de Ica son considerablemente más alta con un rango de 21,90 a 46,30  $\mu\text{g/dL}$ ,

**2.2.5 “Niveles elevados de plomo en sangre entre los trabajadores de ensayos de al fuego y sus niños en Alaska, 2010-2011” ,K.(2010-2011) [14]**

En octubre de 2010, un empleado de la Instalación A de Alaska que realizaba análisis de ensayo al fuego, reportó a la Sección de Epidemiología de Alaska (SOE) con un nivel elevado de plomo en la sangre:

(BLL)  $\geq 10$  ( $\mu\text{g} / \text{dL}$ ). BLL (Blood level lead)

SOE determinó que el empleado A trabajaba en una instalación de Alaska ("instalación A") que realiza ensayos al fuego.

El personal de SOE viajó a la Instalación realizó pruebas de plomo en sangre a los empleados de la Instalación A y a sus miembros. Se recogió muestras de aire en la zona de respiración de un empleado que trabajaba en el laboratorio de ensayos al fuego para estimar los niveles de plomo en el aire a los que los trabajadores estaban expuestos. El SOE ofreció análisis de plomo en sangre a los empleados de la Instalación A ya sus familias; Se extrajo sangre venosa de los adultos y se tomaron muestras capilares de los niños. Todas las pruebas de plomo en sangre se hicieron en el Laboratorio de Salud Pública del Estado de Alaska usando espectrometría de masas de plasma inducido por plasma.

**RESULTADOS** ("Empleado A") con BLL de  $41,1 \mu\text{g} /$  en el SOE

Entre los 15 empleados ,12 tenían una BLL elevada al menos una vez desde octubre de 2010 hasta febrero de 2011. De estos 12 empleados, 10 informaron trabajar en la sala de ensayo al fuego. Cuatro hijos de empleados tenían  $\text{BLL} \geq 5 \mu\text{g} / \text{dL}$  Los BLL de los 10 empleados evaluados durante enero oscilaron entre:

6,0 y  $37,7 \mu\text{g} / \text{dL}$ .

**CONCLUSIONES**

La exposición al plomo, identificada por el contenido de plomo en sangre aire, durante el análisis de ensayo al fuego se ha documentado en la literatura de salud ocupacional desde hace dos décadas. Este informe sirve como recordatorio de la importancia de asegurar que los trabajadores de



ensayos al fuego y sus familias estén adecuadamente protegidos contra la exposición al plomo.

Los empleadores deben educar repetidamente a todos los empleados que puedan entrar en contacto con el plomo en el lugar de trabajo acerca de los peligros de exposición al plomo y protegerlos para reducir el riesgo de exposición para ellos y sus familias.

**2.2.6. Tesis “Determinación de plomo sérico y su influencia de desarrollo de saturnismo en los trabajadores del centro de servicio Alonso Gavilanes & hijos Cia. Ltda. De la ciudad de Ambato”** por Chamba J.C. (2015) [6]

**RESUMEN** Trabajo de determinación de plomo en sangre y su relación al saturnismo en los trabajadores del centro de servicios Alonso Gavilanes & hijos Cía. Ltda., de la Ciudad de Ambato.

Se determinó las concentraciones de plomo sérico y su influencia en el desarrollo del saturnismo en los trabajadores del centro de servicios Alonso Gavilanes & Hijos Cía. Ltda. de dicha ciudad.

La investigación se realizó con el carácter descriptivo porque a través de los resultados obtenidos se realizó una comparación entre lo normal y lo patológico. Las edades son comprendidas entre 28 a 61 años y se consideró a una población de 25 trabajadores que cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión.

Variable Independiente: Plomo sérico

Variable Dependiente: Saturnismo

Se realizan examen químico del contenido de plomo en sangre, tomando muestras de sangre a los trabajadores en ayunas, se toman las muestras de la vena del brazo.

El plomo se determinó por espectroscopia de absorción atómica acoplada con atomización electrotérmica (ETAAS) en un equipo Perkin-Elmer, modelo 2100 provisto de auto muestreador AS-70, inyector automático y horno de grafito HGA-700 a una longitud de onda de 283,3 nm

## RESULTADOS

Resultado de los exámenes diez Trabajadores de los veinticinco, analizados tuvieron más de 10 µg/dL de plomo

## CONCLUSIONES

Luego de realizada la investigación se determinó que los niveles de plomo sérico si influyen para que se presente saturnismo en los trabajadores del centro de servicio Alonso Gavilanes & Hijos Cía. Ltda.

### ***2.2.7. Tesis doctoral “Plomo y mercurio en sangre en una población laboral hospitalaria y su relación con factores de exposición” sobre los factores de exposición que influyen en el contenido de plomo y mercurio en sangre en trabajadores de un hospital***

Trasobares E. (2010) [18].

**RESUMEN** Se determinó la concentración de plomo y mercurio en sangre de la población laboral de un hospital en Madrid.

Se evalúa el plomo respecto a factores personales, sociodemográficos de hábitos de vida, exposición laboral, características de la vivienda y enseres usados en su vida cotidiana. el tipo de agua de consumo y/o cocina y la práctica de actividades en el tiempo de ocio que conlleven una exposición al plomo). Es un estudio transversal, de la población de Madrid se toma la población laboral del hospital san Carlos .de 395 empleados.

El tamaño muestral resultante es de 374 personas.

Toma de sangre y encuestas realizadas entre el 1 de enero de 2008 y el 20 de marzo de 2008.

Variables dependientes:

Concentración de mercurio y plomo en sangre (µg/L):

Algunas Variables independientes:

-Variables sociodemográficas: edad, lugar de residencia, nacionalidad, estado civil, nivel de estudios, categoría profesional.

-Hábitos de vida: consumo de alcohol, tabaco o realizar ejercicios.

Variables de exposición al tráfico en el lugar de residencia y de trabajo.

Variables de exposición laboral al plomo.

Variables del consumo de comida: Carnes, pescados entre otros

La extracción sanguínea se realizó en ayunas a primera hora de la mañana se obtiene sangre coagulada con EDTA El plomo se mide por espectrometría de absorción atómica con atomización electrotérmica (ETAAS) .

## **RESULTADOS**

La mediana de plomo obtenida en el presente trabajo es de 1,7 µg/dL

## **CONCLUSIONES**

1. Hay diversos factores que contribuyen a la contaminación por plomo como: Edad, menopausia, usos de recipientes de barro, afición a la pintura
2. El hábito de comer pescado afectada principalmente a una contaminación por mercurio

### ***2.2.8 Trabajo de investigación “Exposición a plomo en trabajadores de fábricas informales de baterías”*** Ramírez A. (2008) [16]

## **Resumen**

Se elabora un estudio de contenido de plomo en fábricas de baterías del sector informal en el Hospital de Ilo, Perú. Participantes: Trabajadores de cuatro fábricas de baterías del sector informal. La información se realiza con entrevistas a 41 trabajadores, realizada entre agosto 1999 y enero 2000 Se Investigó el contenido de plomo en sangre.

Se realizó un estudio de tipo observacional y transversal.

Población: Trabajadores de cuatro fábricas artesanales de reciclado de baterías (Ilo y Tacna). Se evalúa plomo en sangre (Pb-S) y su contenido de hemoglobina. Se investiga hábitos higiénico-laborales

Se muestrea 5 ml. de sangre venosa en un tubo Vacutainer®, específico para muestra de Pb-S, se acompleja con EDTA, como anticoagulante. El análisis de plomo se hizo en un espectrofotómetro de absorción atómica, Perkin Elmer 603, con horno de grafito. Se realizó la medición de hemoglobina con el método del microhematocrito

**Resultados**

41 trabajadores participantes en el estudio, 34 (83%) fueron varones y 7 (17%) mujeres. Todos los varones (fundidores soldadores, esmeriladores, ensambladores, torneros y rejilladores) tuvieron en promedio Pb-S 45.9  $\mu\text{g/dL}$  (mayor que norma)

**Conclusiones**

En varias ciudades peruanas existe un sector de trabajadores que labora en esta actividad lo hacen en precarias condiciones de higiene y seguridad ocupacional). Se sabe que la exposición ocupacional al plomo sin protección adecuada determina intoxicación saturnina de diagnóstico arduo para el médico en general, y de ahí su importancia en salud pública.

### **2.2.9. Tesis "Exposición laboral al plomo relación entre tiempo y tipo de exposición con niveles sanguíneos" por Decanini G., et.al. (1991) [8]**

Nos muestra tipos y tiempos de exposición que influyen en contaminación ocupacional por plomo.

Se observa por ejemplo del año 1977 el 22.1% del total de enfermedades ocupacionales, son por intoxicaciones por sustancias químicas, y de la mayor importancia es por plomo a saber en la fabricación de acumuladores (71%) y en fundición de plomo (12%).

Se analizó plomo en sangre, tiempo y tipo de exposición en trabajadores expuestos.

Se estudió la relación entre exposición y niveles sanguíneos expuestos.

Es un estudio Transversal, Retrospectivo, Observacional y Analítico.

Se realizan encuestas y a la toma de Muestras de sangre La determinación de plomo en sangre (PB-S) se basó en la técnica, que consiste en hemolizar la muestra con tritón X-100; con pirrolidin ditiocromato de amoniaco, se forma así el complejo de plomo, el cual se extrae posteriormente con metil isobutil cetona, se analiza por AAS

### **RESULTADOS**

Tota 70 trabajadores (5 empresas) 61 encuestados,

Se encontró que el 73.8% (45) de los trabajadores presentan exposición directa, el 26.2 % (16) exposición indirecta.

El promedio de PB-S, en los 61 trabajadores fue de 64.67 µg/dl en la sangre,

Nota: Pb-S significa Plomo en sangre

### **CONCLUSIONES**

- 1.- Los trabajadores presentan niveles de plomo altos, en corto tiempo de trabajo
- 2.- A medida que aumenta el tiempo de exposición, el contenido de plomo aumenta poco, debido a la contaminación inicial.
- 3.- Los tipos de exposición (directa e indirecta) tienen diferencias mínimas en los niveles de Pb-S en trabajadores expuestos.

- 4.- Cuando la Captación de plomo es alta, los niveles Pb-S tienden a disminuir (por posible contaminación en otra parte del cuerpo)
- 5.- Los niveles de Pb-S en los trabajadores con exposición indirecta, son menores que los de exposición directa, rebasan los niveles sin efecto detectado (50 µg/dl) de sangre.
- 6.- Al cabo de 10 años de exposición, los niveles de Pb-S son iguales para trabajadores con exposición indirecta, y exposición directa.

***2.2.10 Trabajo de investigación Intoxicación por plomo en trabajadores de metalmecánica Región Puno (Perú)*** realizado por López E. (2010) [10]

**Resumen**

Se evalúa contenido de plomo en trabajadores de la industria de metalmecánica de la Ciudad de Juliaca Puno-Perú. 2011 y determinan los factores de exposición y el perfil del trabajador con niveles altos de plumbemia.

Como la mayoría de los investigadores la contaminación por plomo se mide en la sangre, para lo cual se revisa la literatura sobre ello

Se mide plomo en sangre y niveles de hemoglobina (5 ml muestra), como anticoagulante se usa EDTA. Población 21 trabajadores.

Medición de hemoglobina con el proceso del microhematocrito.

**RESULTADOS**

Concentración de plomo 21-30 µg/dl 4 trabajadores

Concentración de plomo 31-40 µg/dl 3 trabajadores.

Concentración de plomo 41-50 µg/dl 8 trabajadores.

Concentración de Plomo 51-60 µg/dl 6 trabajadores.

**CONCLUSIONES**

La contaminación por plomo ocupacional en Puno no se le ha dado la importancia que debe tener, se evidenció alta contaminación por plomo en los trabajadores, afectando a la población circundante y aledaña a dicha Fábricas y produciendo contaminación ambiental por plomo.

**2.2.11. Trabajo de investigación, Plomo: problemas actuales de salud pública y ocupacional en poblaciones vulnerables:**

Nivel de evaluación longitudinal de la ocupación, los síntomas respiratorios y de plomo en sangre en jornaleros latinos en un entorno no agrícola realizado por Rabito F.et al. [15]

**RESUMEN** La dependencia de la mano de obra migrante latina en los Estados Unidos está aumentando. Se carece de datos prospectivos sobre el trabajo de los jornaleros y la experiencia en salud en entornos no agrícolas y los resultados generalmente se limitan a casos de lesiones.

Estudio en dos direcciones, para cuantificar el número de cambios en la tarea y el trabajo realizados, tiempo: 12 meses en un estudio de condiciones de cosas o entorno de 73 jornaleros migrantes y se evaluó la relación entre el tipo de trabajo, los síntomas de salud y el nivel de plomo sérico.

**RESULTADOS:**

En promedio, los participantes trabajaron 2,4 empleos diferentes durante el último año con un promedio de 41,5 horas por semana. El trabajo de construcción se asoció con un doble aumento en los síntomas sino-nasales y respiratorios, tanto en los modelos ajustados y no ajustados y se asoció con un aumento de los niveles de plomo en la sangre

**CONCLUSIONES:**

A pesar de la situación laboral diaria, los trabajadores tenían un empleo relativamente estable. Los síntomas respiratorios eran comunes y a menudo mejoraban cuando se alejaban del trabajo, lo que sugiere que es probable que exista exposición al irritante en el lugar de trabajo. Los jornaleros migrantes que trabajan en la construcción son vulnerables a los efectos adversos para la salud asociados con la exposición al irritante y al plomo

**2.2.12 Trabajo: “Niveles elevados de plomo en la sangre en niños de los trabajadores de la construcción”** por Whelan E.et al. (1997) [19]

**RESUMEN** Se realizó un estudio sobre la determinación del contenido plomo en sangre en los hijos de los trabajadores de construcción de la ciudad de New Jersey en el año 1997

**OBJETIVOS:**

Se examinó si los niños de los trabajadores de la construcción expuestos a plomo tenían mayores niveles de plomo en la sangre que los niños control de vecindario.

Veintinueve trabajadores de la construcción fueron identificados del Registro de Epidemiología y Vigilancia de Plomo en Sangre de Adultos (ABLES) de New Jersey. Dieciocho familias de control fueron remitidas por los trabajadores. Se tomaron muestras de sangre venosa de 50 niños (31 expuestos, 19 sujetos a control) menores de 6 años.

**RESULTADOS:**

El 26% de los niños trabajadores tenían niveles de plomo en sangre iguales o superiores al nivel de acción de  $0,48 \text{ m-}\mu\text{mol / L}$  ( $10 \mu\text{g /dL}$ ) de los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, en comparación con el 5% de los niños controles (razón de probabilidades no ajustada = 6,1; % Intervalo de confianza = 0,9, 147,2).

**CONCLUSIONES:**

Los niños de trabajadores de la construcción pueden estar en riesgo de exposición excesiva al plomo. Los proveedores de atención médica deben evaluar la ocupación de los padres como posible vía para la exposición al plomo de los niños pequeños



**2.2.13. Trabajo de investigación “Exposición por plomo en laboratorios de ensayos al fuego para oro” por Daniels W. et.al. 1961[7]**

RESUMEN Se evalúa la contaminación por plomo en la parte que se emite plomo del proceso de determinación de oro: Copelación (se emite plomo en la fundición para obtener el botón de plomo a copelar).

Según bibliografía en el proceso copelación el 98.5 % del óxido de plomo es absorbido y 1.5 % es volatilizado. Se evalúa las emisiones de plomo en el proceso.

Se medirán las concentraciones de plomo emanados en el proceso de ensayos al fuego para determinación de oro

Entre julio de 1986 y marzo de 1989, las encuestas medio ambientales médicas fueron realizadas en seis laboratorios de ensayos al fuego, para determinar el grado de empleados expuestos a plomo y otros metales, además se recogieron muestras personales cerca de la zona de respiración del trabajador para determinar el promedio ponderado en el tiempo (TWA) de 8 horas de exposición al plomo. Se hizo muestreo personal en áreas pequeñas en tiempos cortos para evaluar la extensión en cual cada ensayo contribuía en los niveles de plomo en el aire.

Se usó una bomba a baterías con tasa de flujo entre 1.5 a 4.0 l aire /minuto, las cuales se unieron por tubos Tygon al colector que consistió en 37 mm con tamaño de poro de 0.8  $\mu\text{m}$ . filtro de membrana de mezcla de éster y celulosa contenido en un Casett de tres piezas de plástico, las muestras fueron analizadas en el instituto para seguridad ocupacional y salud (NIOSH) por absorción atómica según método 7082.

En cinco de las seis instalaciones, se muestreó sangre de los trabajadores para determinar niveles de plomo en sangre y libre eritrocito protoporfirina (FEP).

Plomo en sangre se determinó por el método de decapado anódico (anodic stripping) y el nivel de FEP por fluorometría en los laboratorios de OSHA.

## RESULTADOS

En 11 áreas personales de respiración para ensayistas al fuego el TWA exposición fue de 110 a 850  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con una media de 340  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  superando el valor de permitido límite (PEL) OSHA de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Muestras colectadas de personal auxiliar en dicha áreas dio valor de TWA entre 10-220  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 8 horas.

## CONCLUSIONES

Se evidenció la contaminación por plomo en los trabajadores de ensayos Al fuego mayor a los límites máximos permisibles.

***2.14 Guía para reducir plomo inorgánico en laboratorios de ensayos al fuego, editado por la oficina de jefes inspectores de minas British Columbia (This is the first edition of "A Guideline to Reducing Inorganic Lead Exposure in Fire Assay Laboratories").***<sup>5</sup> [13]

### A) OBJETIVO

Los laboratorios de ensayo al fuego que utilizan óxido de plomo (litargirio) en sus procedimientos pueden poner la salud de los empleados de laboratorio en riesgo significativo si no hay medidas de control al plomo. Se recomienda controles de ingeniería, los controles administrativos y el equipo de protección personal (EPP)

### B). IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE EXPOSICIÓN

Identificar las fuentes de exposición de plomo y como contamina al trabajador.

<sup>5</sup>ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). (1992). *Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice* (21st ed.). Cincinnati, OH: ACGIH

**C) IDENTIFICACIÓN D ELAS VÍAS DE ENTRADA**

- Por inhalación
- Por inhalación
- Vía cutánea

**D) CONTROLES DE EXPOSICIÓN**

Se recomiendan tres controles:

- Separación efectiva del área de ensayos al fuego
- Controles de ingeniería: Ejemplo: ventilación adecuada
- Controles administrativos

**e). PROCEDIMIENTOS DE TRABAJOS SEGUROS**

Se deben desarrollar procedimientos de trabajo seguros para proporcionar orientación específica a los trabajadores sobre cómo protegerse de exposiciones potencialmente dañinas

**f) CONTROLES OPERACIONALES**

Control en la ventilación, en el vertido, en la extracción de las escorias y en el martilleo, en el proceso de fundición y copelación

Todas estas recomendaciones se pueden verificar en el anexo 4, que es una traducción propia de este artículo

## 2.3 Bases Teóricas

### 2.3.1 PROCEDIMIENTO OBTENCIÓN DEL ORO Y PLATA:

El procedimiento general consiste<sup>6</sup>:

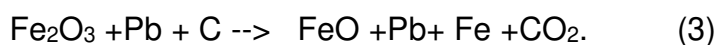
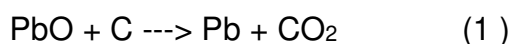
#### A. FUSIÓN

La muestra de mineral se funde a 1000-1050°C en condiciones reductoras usando litargirio (PbO) como colector. Las condiciones reductoras dependen de la muestra que son de dos tipos: Oxidadas o sulfuradas

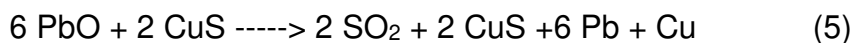
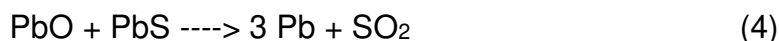
a) Oxidadas

b) Sulfuradas (más frecuentes en el Perú)

El litargirio PbO (100-250 g) se reduce en las muestras oxidadas por la adición de Harina que al quemarse a 900-1000°C forman carbón que es reductor según ecuaciones siguientes:



Las muestras sulfuradas son reductores del litargirio:



<sup>6</sup>ISO 10378 2005 Copper, lead and zinc sulfide concentrates — Determination of gold and silver — Fire assay gravimetric and flame atomic absorption spectrometric method

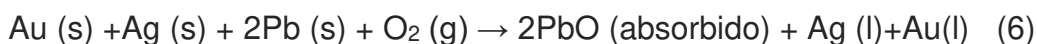
El plomo se funde a 327°C, el óxido de plomo a 888°C y la plata a 960°C. Es evidente la formación de vapores de plomo al fundir la muestra 900-1000°C (primera fusión).

## **B.COPELACIÓN**

Se enfría el regulo de Pb-Ag-Au, se golpea con martillo para separar las escorias y se vuelve a fundir en condiciones oxidantes (un flujo constante de aire).900-960°C.en una copela.

El plomo se oxida en la copela (copelación 900°C, segunda fusión) para dar lugar al monóxido de plomo (litargirio), que captura el oxígeno de los otros metales presentes. El óxido de plomo líquido se absorbe por la acción capilar en la copela (con probabilidad de emitir nuevamente plomo vapor).

Esta reacción química puede considerarse como:



Al enfriarse se obtiene el doré de oro y Plata

## **C.PARTICIÓN**

Finalmente se hace la partición (separación oro-plata) usando ácido nítrico diluido a temperatura de ligera ebullición 80-90°C, con la condición que el contenido de Ag/Au>2.5/1 caso contrario se le incuarta con plata.

Existen dos veces las emanaciones de plomo:

En la fusión y en la copelación.

### **2.3.2 MUESTREO**

El contenido de plomo emitido en forma de vapor se monitorea usando bomba de vacío de bajo volumen de 0-5 L/minuto (medido por un rotámetro) captando el plomo en filtros de celulosa en un cassette de tres cuerpos para garantizar una captura efectiva del plomo emitido.

El filtro obtenido se digesta en medio ácido nítrico, se lleva a sequedad, se le da el medio adecuado, se afora a volumen y se lee la concentración por absorción atómica en  $\mu\text{g/ml}$ . (microgramo sobre mililitro o ppm)

El producto del valor de la concentración por el volumen del aforo en ml nos da los microgramos de plomo que es el valor que nos interesa para evaluar la eficiencia de los extractores. El producto del tiempo del muestreo por el flujo del rotámetro nos da el volumen de aire muestreado.

Para evaluar el riesgo de exposición grave a los vapores del plomo nos regimos con la concentración máxima permitida LMP ocupacional que está en  $\mu\text{g/ml}$  u otra unidad equivalente,

El producto del flujo de aire por el tiempo en minutos nos da el valor el aire en litros, al multiplicarlo por 1000 se convierte mililitros (ml)

El cociente de los  $\mu\text{g}$  de plomo obtenido en el volumen de aire en ml representa la concentración del aire ocupacional ( $C_0$ )

Si  $C_0 < \text{LMP}$  no hay riesgo de contaminación.

### **2.3.3 CONDICIONES SUB ESTANDAR**

Las condiciones subestándares de trabajo han estado asociados a la seguridad industrial relacionados a los actos y condiciones inseguras.

En Mesopotamia el código de Hamurabi se sancionaba a las personas que causaban daños al pueblo cuando realizaban labores.

En Egipto se usaban arneses, sandalias y andamios como implementos de seguridad.

En Francia entre 1413-1417 se establecieron las “Ordenanzas de Francia” que velaban por la seguridad del trabajador.

George Agrícola (1492-1555) en su obra *De Animatti bus subterrani*, se refiere a las deficiencias de la ventilación como una de las principales causas de las enfermedades ocupacionales.

Bernardino Ramazzini (1633-1714). realizó un trabajo profundo sobre salud ocupacional a saber.

La mayor contribución sobre seguridad industrial comenzó con la revolución industrial

La Revolución Industrial comenzó entre 1760 hasta 1830, el país pionero fue Gran Bretaña, tanto en cuanto a la parte técnica como a la seguridad del trabajo. La Segunda Revolución Industrial (1870-1914), fue liderada por Estados Unidos.

La seguridad industrial formal comienza con la publicación de 1931 del libro *Prevención de accidentes laborales* de H.W. Heinrich (Padre de la seguridad industria).

En 1918 también aparece la Escuela Americana con Heinrich, Simons, Grimaldi y Birds; que proponía un enfoque analítico y preventivo de los accidentes.

Herbert William Heinrich (1886-1965) es el primer ingeniero de seguridad reconocido. Realizó estudios y análisis de accidentes propuso (Prevención) de 100 accidentes 98 pudieron ser previstos. De cada 75,000 accidentes, 10

por ciento se deben a condiciones peligrosas, 88 por ciento a actos inseguros y 2 por ciento a actos imprevistos. Es decir que la principal fuente accidentes se debe a los actos inseguros de los trabajadores en lugar de factores ambientales. El define el término condiciones estándares de trabajo para evitar accidentes laborales y seguridad de la salud de los trabajadores. En 1914 la NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) formaba parte del Departamento de Higiene y Sanidad Industrial en Pensilvania,

La Ley para la Seguridad y Salud Ocupacional de 1970 creó NIOSH y la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA).

OSHA pertenece al departamento de Trabajo de los EE.UU. (Department of Labor) se reponsabiliza de crear y hacer que se cumplan las reglas de seguridad y salud en el trabajo.

NIOSH pertenece al Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) que Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS). NIOSH vela por condiciones de trabajo seguras y saludables para los hombres y mujeres que trabajan, mediante actividades de investigación, información, educación y capacitación en el campo de la seguridad y salud ocupacional. Mayor información ver Sección 22 de la Ley para la Salud y Seguridad Ocupacional de 1970 (29 CFR § 671). Adicionalmente, las Enmiendas a la Ley Federal de Salud y Seguridad en Minas de 1977 delegaron autoridad adicional a NIOSH para las investigaciones de salud en las minas de carbón.

En EE.UU hay condiciones estándar de trabajo recomendadas en ensayos al fuego:

Los laboratorios ubicados en sitios mineros están regulados por la Administración de Seguridad y Salud Minera (MSHA)

Los laboratorios comerciales están regulados por OSHA, y OSHA PELs se aplican.

En el Perú no hay condiciones estándar recomendadas especialmente sobre la ventilación de los hornos (extractores) en las áreas ensayos al fuego (en EEUU sí). Por ello se trabaja a condiciones subestándar.



## **CAPITULO 3: HIPOTESIS Y VARIABLES**

### **3.1 Hipótesis general**

La hipótesis general a demostrarse es:

“El contenido de plomo ocupacional en el área de trabajo de los laboratorios de ensayos al fuego está relacionado con las condiciones subestándar de trabajo.”.

### **3.2 Hipótesis específicas**

#### ***3.2.1 Hipótesis específica 1:***

“El contenido de plomo ocupacional en los laboratorios de análisis de minerales es mayor en el área de ensayos al fuego y el área de preparación de muestras, que el área de ataques de muestras, áreas colindantes, debido a las condiciones sub estándar de trabajo”

### **3.2.2 Hipótesis específica 2:**

“El contenido de plomo ocupacional en el proceso de fundición sin usar extractor, es mayor que el contenido de plomo ocupacional en el proceso de copelación a condición subestándar de usar extractor a velocidad de 4 m/s”

### **3.2.3 Hipótesis específica 3:**

“El contenido de plomo determinado en un punto del área de ensayos al fuego en la fundición sin uso de extractor (un solo horno) es menor que la fundición con extractor (un solo horno) a velocidad de extractor de 4 m/s” y, si el número de hornos simultáneos sin extractor a condiciones favorables es menor en la fundición; también es menor el contenido de plomo

## **3.3 IDENTIFICACION DE VARIABLES**

### Variable dependiente

Concentración de plomo ocupacional

### Variable independiente:

Condición subestándar de trabajo en el laboratorio

**TABLA N°6    VARIABLES INDEPENDIENTES**  
**(Condiciones subestándar)**

Área del laboratorio	Proceso	Variable
Minerales	Ataque de muestras	Uso de Campana
Muestreo	Pulverizado de muestra	Uso extractor
Ensayos al fuego	Fundición	Uso del extractor (Horno)
Ensayos al fuego	Fundición	Número hornos trabajando simultáneamente
Ensayos al fuego	Copelación	Uso del extractor (Horno)
Ensayos al fuego	Copelación	Número hornos trabajando simultáneamente
Ensayos al fuego	Fundición y copelación	Limpieza del suelo
Ensayos al fuego	Fundición y copelación	Procedimientos de ensayo

Nota la variable dependiente es: Contenido de plomo ocupacional

Fuente propia

Tabla 7 Operalización de variables

3.4Operacionalización de variables TABLA DE OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES					
TITULO:	RELACION DEL CONTENIDO DE PLOMO CON LAS <u>CONDICIONES SUBESTÁNDAR(CS)</u> DE LOS LABORATORIOS EN EL PERU				
Variables dependientes(x)	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones (x1,x2,x3) Sub causas que muestran progresivamente a (x)	Indicadores Subvariable	Instrumentos (test, equipos, etc)
<b>Contenido de plomo</b>	Contenido de plomo que se emite en los Laboratorios. del Perú en especial en el proceso ensayos al fuego que depende de extractores y su capacidad de extracción	Se mide el contenido de plomo ambiental <u>ocupacional</u> (área de trabajo)	Contenido ocupacional por plomo en lab.Minerales a (CS)(x1)(Campana)	$\mu\text{gPb}/\text{m}^3$	MP-Tren-AAS
			Contenido -ocupacional por plomo en fundición a (CS)(x2)(Extractor../horno)*	$\mu\text{gPb}/\text{m}^3$	MP-Tren-AAS
			Contenido-ocupacional por plomo en copelación (CS)* (x3)(Extractor/ Horno)*	$\mu\text{gPb}/\text{m}^3$	MP-Tren-AAS
			Contenido ocupacional por plomo sólido en muestreía a (CS)(x4)(Extractor )	$\mu\text{gPb}/\text{m}^3$	MP-Tren-AAS
			Contenido -ocupacional por plomo en fundición a (CS)(x2)(Extractor../horno)**	$\mu\text{gPb}/\text{m}^3$	MP-Tren-AAS
			Contenido-ocupacional por plomo en copelación (CS) (x3)(Extractor/ Horno)	$\mu\text{gPb}/\text{m}^3$	MP-Tren-AAS

El muestreo se realiza en el área de ataques de muestra área de ensayos al fuego, área de preparación de muestras, laboratorio minerales .En los muestreos del área de ensayos al fuego se realizan el procedimiento de Fundición y copelación. se colocarán dos o tres filtros a la salida de cada horno: Al centro, a la derecha y a la izquierda en algunos casos. Muestreo a horno cerrado. MP=Material particulado. AAS=Espectroscopía de absorción atómica. Tren=tren de muestreo



TABLA 7 (Continuación)

TABLA DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES					
TITULO:	RELACION DEL CONTENIDO DE PLOMO CON LAS <u>CONDICIONES SUBESTÁNDAR</u> (CS) DE LOS LABORATORIOS EN EL PERU				
Variables Independientes(Y)	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones (y1,y2,y3) Sub causas que muestran progresivamente a (y)	Indicadores Sub variables	Instrumentos (test, equipos,etc)
Condiciones <u>sub estándar</u> de trabajo en el laboratorio	Son la condiciones de trabajo no estandarizados de los analistas en los laboratorios que dependen del Jefe de <u>operaciones</u> y del Jefe del SSOMA	En los laboratorios de ensayos se producen partículas y vapores, se mide contenido de plomo por AAS e <u>condiciones</u> Sub estándar	Uso de un Horno	Velocidad del extractor, Diseño de la puerta del horno: Horizontal-vertical	Medidor <del>velocidad</del> medidor presión negativa
			Uso de extractores	Flujo del rotámetro,	
			Uso de <u>más</u> un Horno	Punto de muestreo (distancia al horno y posición,)	Medidor velocidad
			Procedimiento de <u>Ensayo: Fundición</u>	Tiempo de muestreo	Medidor de velocidad
			Procedimiento de Ensayo: Fundición y Copelación	Flujos de aire en el área de trabajo.	
			Ambiente <u>normal</u> (laboratorio minerales) Uso de campana vía clásica	Velocidad del extractor	

Se evaluará la velocidad de la campana del horno en la entrada del horno y se medirá la presión negativa producida por la campana usando un manómetro de agua de ser posible. El flujo se calcula según la ecuación  $\text{flujo} = A \times V$   $A = \text{Área m}^2$   $V = \text{m/s}$  Donde A es el área de la entrada del horno y V la velocidad medida.

Fuente propia

### **3.5 MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**TABLA N°8 Matriz de consistencia**

## 3.5 MATRIZ DE CONSISTENCIA

TABLA N°8 Matriz de consistencia

Título de la Tesis: RELACION DEL CONTENIDO DE PLOMO CON LAS CONDICIONES SUBE STÁNDAR(CS) DE LOS LABORATORIOS EN EL PERU					
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL		VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN	Indicador
¿De que forma el contenido de plomo en los laboratorios de minerales se relaciona con las condiciones de trabajo sub estándar de los mismos. ?	Identificar las áreas más contaminadas por plomo para determinar contenido de plomo ocupacional y verificar que el contenido de plomo se relaciona con las condiciones sub estándar en los Laboratorios de minerales del Perú.	HIPÓTESIS GENERAL	IDENTIFICACIÓN		
		El contenido de plomo ocupacional en el área de trabajo de los <u>laboratorios</u> de ensayos al fuego está relacionado con las condiciones sub estándar de trabajo	Contenido de Plomo ambiental ocupacional en el área de ensayos al fuego	Monitoreo - ocupacional	Valor del contenido de plomo en $\mu\text{g Pb}/\text{m}^3$ aire
			Contenido de Plomo del personal en el área administrativa (optativo)	Ensayos de contenido de Plomo a los analistas(optativo)	Valor del contenido de plomo en $\mu\text{g Pb}/\text{m}^3$ aire
			Contenido de Plomo ambiental ocupacional en el área de minerales	Monitoreo - ocupacional	Valor del contenido de plomo en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aire
			Contenido de Plomo del personal en el área preparación de muestras(optativo)	Monitoreo ocupacional: Suelo y aire	

TABLA 8 (CONTINUACION)



Título de la Tesis: RELACION DEL CONTENIDO DE PLOMO CON LAS CONDICIONES SUBE STÁNDAR(CS) DE LOS LABORATORIOS EN EL PERU				
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	
Problema Específico N° 1	Objetivo Específico N° 1	Hipótesis Específica N° 1	NOMBRE DE LA VARIABLE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN
¿Cuáles son las áreas más contaminada por plomo en los laboratorios de minerales?	Mediante la cuantificación de plomo verificar que el área de contaminación mayor es el área de ensayos al fuego , seguida del área. de muestreo.	La contaminación de plomo en los laboratorios de análisis de minerales es mayor en el área de ensayos al fuego seguida del área de preparación de muestras, y en menor proporción área de ataques de muestras y áreas colindantes	1.Contenido de plomo en área de ensayos al fuego 2.Contenido de plomo en área de muestreo 3.Contenido de plomo en área de minerales 4.Contenido de plomo en áreas adyacentes	Monitoreo contenido de plomo ambiental-ocupacional
	Actividades		Numero de muestras en el Horno	Control de análisis de muestras
	Programar y coordinar desarrollo de los ensayos en la empresa		Tipos de muestras	
	Tareas			
	Buscar de ensayos de monitoreo ambiental ocupacional por Plomo			
	Disposición de materiales y equipos			

TABLA 8 (Continuación)

<b><u>Problema Específico N° 2</u></b>	<b><u>Objetivo Específico N° 2</u></b>	<b><u>Hipótesis Específica N° 2</u></b>	<b>NOMBRE DE LA VARIABLE</b>	<b>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN</b>
¿En que parte del proceso de ensayos al fuego es mayor la contaminación por plomo?	Determinar que etapa en el proceso de ensayos al fuego es de mayor contaminación por plomo	El contenido de plomo en la fundición sin usar extractor es mayor que en la copleacion con extractor a 4 m/s	Fundición y copelación a puerta cerrada. Contenido de plomo en fundición sin etractor. Contenido de plomo en copelación con extractor	Ensayos de muestreo de plomo ambiental ocupacional
	<b>Actividades</b>			
	<b>Programar y coordinar desarrollo de los ensayos en la empresa</b>			
	<b>Tareas</b>			
	<b>Revisar bibliografía de métodos de ensayos de determinación de plomo ambiental-ocupacional</b>			

TABLA 8 (Continuación)

<b>Problema Específico N° 3</b>	<b>Objetivo Específico N° 3</b>	<b>Hipótesis Específica N° 3</b>	<b>NOMBRE DE LA VARIABLE</b>	<b>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN</b>
¿Qué condiciones sub estándares de trabajo contribuyen en la contaminación ocupacional de plomo en el proceso de fundición en el área de ensayos al fuego?	<b>Evaluar contenido de plomo con la condición sub estándar del uso del extractor , y el uso simultáneo de dos hornos</b>	El contenido de plomo en la fundición con uso de extractor (un solo horno) es menor que la fundición sin extractor (un solo horno) a velocidad de extractor de 4m/s y si el número de hornos simultáneos sin extractor en la fundición es menor; también es menor el contenido de plomo"	<b>Contenido de plomo en paso: copelación a puerta cerrada</b> <b>Fundición a puerta cerrada</b> <b>Carga de litargirio</b> <b>Velocidad del extractor 4 m/s</b>	<b>Ensayos de muestreo de plomo ambiental ocupacional</b>
	<b>Actividades</b>			
	<b>Programar y coordinar desarrollo de los ensayos en la empresa</b>			
	<b>Tareas</b>			
	<b>Revisar bibliografía de métodos de ensayos de determinación de plomo ambiental-ocupacional</b>			

Nota :Condición favorable es cuando los dos hornos tienen la puerta en la misma dirección



## **CAPITULO 4 METODODLOGÍA**

### **4.1 Tipo y diseño de investigación**

Diseño experimental descriptivo, evaluaremos el contenido de plomo en los laboratorios de minerales del Perú variando las variables de condiciones subestándar de trabajo. Se realiza evaluación las mediciones antes y después de variar las condiciones lo que se denomina Longitudinal (mediremos varias veces el contenido de plomo)

Clasificación según número de ocasiones de medición de la variable:

Es de tipo Longitudinal, se evalúa a diferentes tiempos el contenido de plomo.

La toma de datos es Prospectivo, los datos obtenidos son recolectados de

Como son dos variables en estudio es de tipo Bivariado.

### **4.2 Unidad de Análisis**

Evaluación del contenido de plomo emitido de los hornos de ensayos al fuego:

Fundición y copelación según su capacidad de emitir gases de plomo que dependerá del sistema de extracción y ventilación.

### 4.3 Población, muestra y tamaño de estudio

Es el número de hornos o planchas por cada empresa, es al menos uno por cada empresa, debido a la poca cantidad de laboratorios que en nuestro caso la población es en número de unidad igual que la muestra.

Para el de estudio hay dos Posibilidades:

- a) Un solo horno variando la velocidad de extracción de humos metálicos
- b) Más de un horno trabajando.

Laboratorio A: Población 1 Horno. Muestra 1 Horno Tamaño: 100%

Fundición 7 ensayos. Copelación 4 ensayos, Laboratorio químico 6 ensayos

Laboratorio X: Población 3 Hornos. Muestra 2 Hornos. Tamaño: 75%

Fundición 6 ensayos. Copelación 4 ensayos: Laboratorio químico 20 blancos  
Piso del área de ensayos al fuego 11 ensayos

Laboratorio B: Población 3 hornos. Muestra 2 hornos. Tamaño: 75%

Fundición 48 ensayos. Copelación 17 ensayos. Laboratorio Químico 6 ensayos. Blancos 26, Preparación de muestras (pulverización) 8 ensayos.

Piso ensayos al fuego 4 ensayos.

Total de ensayos: Fundición 61; copelación 25; Blancos (Laboratorio de Minerales, áreas adyacentes 52); Suelo: Laboratorio de ensayos al fuego 15  
Preparación de muestras 8 ensayos

### 4.4 Problemática del estudio

Por el carácter problemático del estudio y sus implicancias la selección de la empresa es debido al permiso de obtenido para realizar el estudio.

Se realizó la solicitud de para determinar del contenido de plomo ocupacional en 5 laboratorios adicionales, proponiendo el uso de carta de confidencialidad, recibiendo respuesta negativa. (Tema muy problemático)

## **4.5 Pasos para la recolección de datos y análisis de la muestra.**

### **4.5.1 Identificación de las Fuentes de emisión de plomo y su ubicación**

a) Hornos en área de ensayo al fuego: fundición y copelación

La muestra se combina con litargirio ( $\text{PbO}$ ) y son fundidas en el horno de fundición y copelación.

Los hornos al no tener cierre hermético permiten que el plomo metálico se distribuya en forma de vapor de plomo

b) Planchas de ataques de muestras en el laboratorio.

Las muestras especialmente los concentrados de plomo tienen alguna probabilidad de contaminación por plomo

c) Piso del área de ensayos al fuego.

El plomo vapor al condensar precipita al piso del área de ensayos al fuego

### **4.5.2 Equipo Necesario para recolección de datos.** (ver anexo 1 figura 33)

a) Bomba de vacío Se usa una bomba de vacío tipo pescera para captura las partículas gaseosas de vapor de plomo

b) Portafiltro (ver anexo 1 figura 30)

Cassettes de poliestireno de 2 ó 3 cuerpos, de 37 mm de diámetro en los que se coloca el filtro sobre el soporte de celulosa y filtro de membrana de ésteres de celulosa, de 37 mm de diámetro y 0,8 micras de porosidad Sirve como soporte del plomo de vapor metálico

c) Soporte de celulosa del portafiltro. Sirve para proteger al filtro

d) Rotámetro calibrado

Sirve para medir el flujo del aire con plomo aspirado

e) Cronómetro

#### 4.5.3 Equipo para determinación de plomo

a) Equipo de absorción atómica

b) Material de vidrio

El método de determinación de plomo se hace por absorción atómica, lectura directa.

#### 4.6 Análisis e interpretación de la información

-Se anotará la carga de plomo por cada corrida de fundición, peso del litargirio, el número de hornos funcionando.

-Copelación en base al peso del botón de plomo

-Se Evalúa la velocidad de la campana

-Se anota el flujo de la bomba en el rotámetro, y el tiempo de muestreo.

-Se muestrea a puerta cerrada y a diferentes distancias del horno.

-Se determina el plomo por absorción atómica en flama

##### Cálculo de la concentración de plomo

1. Se anota el flujo inicial y final, se calcula el flujo promedio. ( $\phi_p$ ) l/min

$$(\phi_p) = \frac{(\phi_1) + (\phi_2)}{2} \quad \text{donde } \phi_{p1} = \text{flujo inicial} \quad \phi_{p2} = \text{flujo final}$$

2. Se calcula el volumen de aire muestreado  $V = \phi_p \times t \times 10^{-3} \text{ m}^3$

Donde t es el tiempo de muestreo en minutos (generalmente 60 minutos)

3. Se calcula la masa de plomo muestreado

Sea C  $\mu\text{g Pb/ml}$  obtenido de la lectura de la muestra por absorción atómica; el volumen aforado de la muestra leída es 10 ml.

La masa de plomo es C  $\mu\text{g Pb/ml} \times 10 \text{ ml} = 10 \text{ C } \mu\text{g de Pb}$

4. Se calcula la concentración de plomo  $10 (C/ V) \mu\text{g/m}^3 \text{ Pb}$





## **CAPITULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **5.1 Análisis, interpretación y discusión de resultados**

El contenido de plomo en un laboratorio de minerales depende de las áreas de trabajo que usen insumos o muestras que contengan plomo.

Asimismo las áreas contiguas a estas podrían estar contaminadas sino hay alguna separación efectiva, que normalmente las hay.

Las áreas más propensas a sufrir contaminación por plomo son:

- a) El área de preparación de concentrados especialmente de plomo
- b) El área de ensayos al fuego, se usa mucho litargirio (óxido de plomo PbO)
- c) El área de laboratorio de análisis de minerales debido a que se analizan muestras que contienen plomo.

En el área de ensayos al fuego existen dos ensayos a evaluar

- i) La fundición que es el primer ensayo con emisiones de plomo del proceso de determinación del oro y plata de las muestras, debido al fundente PbO
- ii) La copelación como el segundo ensayo con emisiones de plomo, que es una “fundición” en copelas de los régulos de Ag-Au-Pb obtenidos en la fundición con el plomo como colector, luego se separa el plomo del oro y la plata.

El contenido de emisión de plomo en estos ensayos va a depender de las características del horno: fugas, hermeticidad de la puerta del horno, diseño de abertura de la puerta del Horno.

El contenido de plomo evaluado en un punto del área de trabajo de ensayos al fuego, va depender de las condiciones del extractor, número de extractores en cada horno velocidad del extractor, número de hornos trabajando al momento de realizarse la evaluación o muestreo del contenido de plomo.

Todas estas condiciones son condicion subestándar de trabajo.

Normalmente los hornos tienen un solo extractor.

Hay hornos con puertas de abertura horizontal y otros de abertura vertical.

Nosotros hemos evaluado los de abertura horizontal.

#### Laboratorio A

En el laboratorio A no usan extractor y trabajan pocas muestras.

El horno tiene una fuga al centro en la parte superior del mismo (Foto 2).

(La puerta no cerraba bien).

**TABLA N°9 A RESUMEN Laboratorio. A**

Proceso	minutos	Lugar	Carga	ug/m <sup>3</sup>
Fundición	45-60	Arriba del horno	8 Cris./120 PbO c/u	76-101
Fundición	45-60	Costado puerta	8 Cris./120 PbO c/u	18-22
Copelación	60	Arriba del horno	14 Cop. 35g Pb c/u	690-3897
Copelación	60	Costado puerta	14 Cop. 35g Pb c/u	921-3200
Copelación	2	Fuera del horno	14 Cop. 35g Pb c/u	1682
Lab. Químico	45	1 a 3 m campana	0	0.31-2.49

*Fuente propia*

Carga de plomo en fundición 891 g de Pb

Carga de plomo en copelación 490 g

La copelación produce mayor contaminación. (ver tabla N°9)

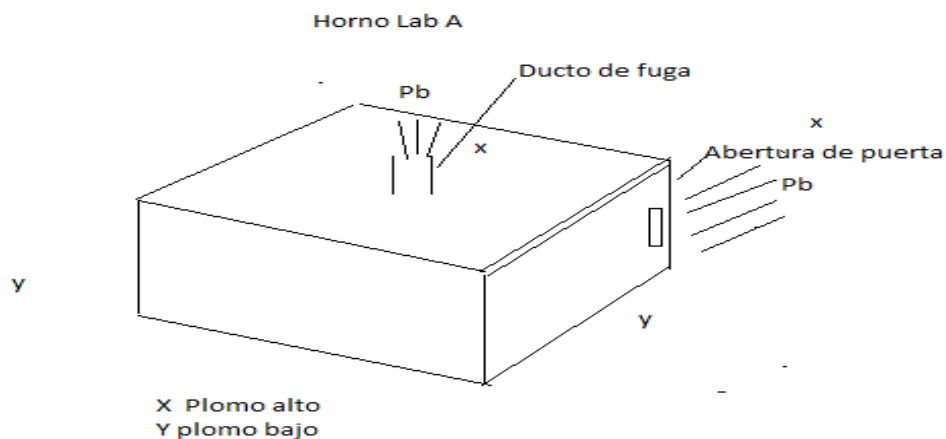
La fundición en la parte al costado de la puerta los resultados fueron menores (22.27) que el límite máximo permisible (LMP) de 75 µg/m<sup>3</sup>. Arriba del horno y cerca a la puerta se obtuvo hasta 101 µg/m<sup>3</sup>. En cambio en la copelación si fueron muy altos con solo 14 régulos: Arriba 3897 y al costado hasta 3208 µg/m<sup>3</sup>, valores muy superiores al LMP (ver tabla N°9 y N°16 A1).

Es de notar que cuando se abre el horno para sacar las copelas para enfriarlas en 2 minutos se obtuvo el valor de 1682 µg/m<sup>3</sup>. de plomo

En el laboratorio A de minerales se obtiene un máximo de 2.49 µg/m<sup>3</sup>

(Ver tabla N°17A2). Al ser el primer laboratorio a evaluar sirvió para conocer la posible distribución inicialmente la emisión de plomo en hornos de salida horizontal

: Debido a las altas temperaturas del gas plomo se ve que el plomo tiene dirección en la salida y hacia arriba como se vio en la parte 1 de la figura 1 pág. 3



**Figura.1 Dirección de la emisión de plomo**

X punto de muestreo en la dirección del gas de Pb da valor alto en Pb

Y punto de muestreo lejos de la dirección del gas Pb da valor bajo en Pb

*Fuente propia*

#### Laboratorio X

Al analizar los resultados del Laboratorio X de tabla X1 se observa, que a pesar que se barre el área de ensayos al fuego , se acumula plomo desde 3 hasta 15 % ( 15000 ppm),

**TABLA N° 10 X RESUMEN Laboratorio X**

Proceso	minutos	Lugar	Carga	ug/m <sup>3</sup>
Toma suelo	-----	2-6 m del horno	0	2.3-14.28 %
Blanco	60	Lab. Medio ambiente	0	0
Blanco	120	Ex. geoquímica	0	2.8-18
Fundición	60	0.01-2.7 m del horno	40cris./180gPbOc/u	14-44
Copelación	60	0.01 m del horno	40 cop. /35 g Pb c/u	9-19

*Fuente propia*

Nota Extractor con velocidad de 1.9-2.1m/s. Horno puerta vertical,Carga de plomo en fundición 6677g de Pb,Carga de plomo en copelación 1400 g

Los blancos en el área del laboratorio de medio ambiente no da presencia de plomo, pero los blancos del área libre de ex geo química dieron valores hasta  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  debido a posibles fugas de los ductos de la campana de extracción de minerales y fundición y principalmente que el área no tiene techo de separación de dichos extractores.

Al analizar los resultados de fundición y copelación del laboratorio X (ver tabla N° 20 X3, usando extractor con velocidad de 1.4-1.8 m/s en la copelación, se observa que los valores obtenidos en la fundición son más altos hasta el doble o triple que la copelación, por no usar extractor en la fundición, por el alto contenido de litargirio 180 g y que el número de crisoles es casi el mismo que el número de régulos y se trabajan 40 crisoles y 40 botones (cada botón pesa 35 g).

#### Laboratorio B

**TABLA N°11-B RESUMEN LABORATORIO B**

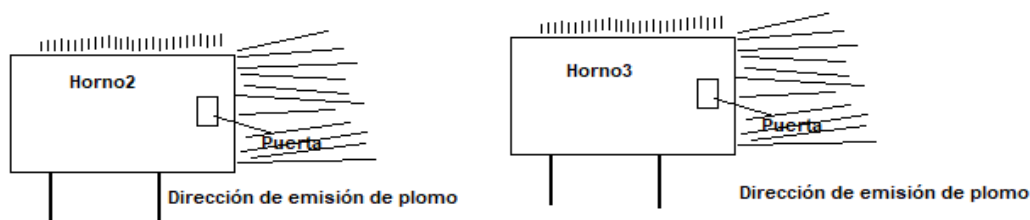
Proceso	minutos	Lugar	Carga	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Molienda	360	Preparación muestra	14-34 muestras	12-29
Molienda	45	Preparación muestra	36 muestras	1108-1116
Fundición 1H s/ext.	60	Ensayos al fuego	28 cris.150gPbO c/u	21-60
Fundición 2H s/ext.	60	Ensayos al fuego	28 cris.150gPbO c/u	162-213
Fundición 1H s/ext 4m.	60	Ensayos al fuego	24 cris.150gPbO c/u	17-40
Fundición 2H s/ext. 4m	60	Ensayos al fuego	28 cris.150gPbO c/u	102-293
Fundición 1H c/ext.	60	Ensayos al fuego	28 cris.150gPbO c/u	4.87-17.15
Fundición : Cop7 Izquierda $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ centro $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Derecha es mayor $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$				
Fundición 2H:100-200cm	60	Ensayos al fuego	28 cris.150gPbO c/u	100-300
Copelación 1H c/ext.	60	Ensayos al fuego	80-88 botones Pb	5-47
Copelación 2H c/ext.	60	Ensayos al fuego	80-88 botones Pb	75-239
Muestreo suelo		Ensayos al fuego		7-11%
Ataque muestras		Laboratorio Químico .		0.7-11

TABLA 11 B (Continuación) **RESUMEN LABORATORIO B**

TABLA 5 RESUMEN LABORATORIO B								
Proceso	H2	H3	M	minutos	Area	Carga	$\mu\text{gPb}/\text{m}^3 \text{aire}$	Tabla
Molienda			✓	360	Preparación muestras	14-34 muestras	12-29	B-PR-1
Molienda			✓	45*	Preparación muestras	36 muestras	1108-1116	B-PR-1
Fundición s/ext. 10cm		✓		60	Ensayos al fuego	28 cris.150gPbO c/u	21-60	B-PR-3
Fundición s/ext. 10cm	✓	✓		60	Ensayos al fuego	28 cris.150gPbO c/u	162-213	B-PR-3
Fundición s/ext. 4m		✓		60	Ensayos al fuego	24 cris.150gPbO c/u	17-40	B-PR-5
Fundición s/ext. 4m	✓	✓		60	Ensayos al fuego	28 cris.150gPbO c/u	102-293	B-PR-5
Fundición c/ext. 10 cm		✓		60	Ensayos al fuego	28 cris.150gPbO c/u	4.87-17.15	B-PR-7
Fundición s/ext.100-200 cm	✓	✓		60	Ensayos al fuego	28 cris.150gPbO c/u	100-300	B-PR-10
Copelación c/ext. 10cm		✓		60	Ensayos al fuego	80-88 botones Pb	5-47.0	B-PR-12
Copelación c/ext. 10-400 cm	✓	✓		60	Ensayos al fuego	80-88 botones Pb	75-239	B-PR-12
Muestreo de suelo					Ensayos al fuego		7-11% Pb	B-PR-14
Ataque de muestras					Laboratorio Químico		0.7-11	B-PR-6
1 solo horno Cop7 Izquierda 10 ug/m3 cop 8 centro centro 5 ug/m3 cop9 Derecha es mayor 29 ug/m3								
1 solo horno Cop10 Izquierda 17 ug/m3 cop 11 centro centro 16 ug/m3 cop12 Derecha es mayor 24 ug/m3								
2 hornos Copx Izquierda 32 ug/m3 cop y centro centro 10 ug/m3 copz Derecha es mayor 47 ug/m3								
Todas las copelaciones se realizan con extractor y las fundiciones sin extractor normalmente en el trabajo								

Donde: s/ext.= sin extractor c/ext.= con extractor H2=horno 2 H3=horno 3

*Fuente propia*



**Figura.8 Dirección de emisión plomo en hornos**

*Fuente propia*

De la tabla N°9 y N°21 B-PR-1 de muestreo área de preparación de muestras (concentrados), se observa que si se muestrea seguido (360 minutos) valor más alto es  $29\mu\text{g}/\text{m}^3$ , si monitoreamos solo el tiempo de molienda real expuesto al operador que es de 45 minutos (3 moliendas) se obtiene  $1116\mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor muy superior al LMP de  $75\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

De la tabla N°9 y N°23 B-PR-3 en la fundición cuando funciona un solo horno y sin uso de extractor, conteniendo entre 24-28 crisoles de 150 g de PbO se obtienen valores (a 10 cm) hasta  $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ , en cambio cuando hay muestreo simultáneo de los dos hornos a la salida de la puerta (a 10 cm), debido a que es horno de puerta tipo horizontal salen valor de Pb muy alto de hasta  $213.48\mu\text{g}/\text{m}^3$  (mucho mayor que el LMP)

En cambio de las tablas N°9 y 24 B-PR-4 se observa que la copelación son menores en promedio que la fundición hasta  $31\mu\text{g}/\text{m}^3$  y menores al LMP, en el muestreo a 10 cm de la salida no habiendo interferencia de un horno sobre el otro(solo es un horno), se conserva la tendencia de que el valor más alto es a la salida de la puerta (lado derecho):

1 H Cop. 7 izq.  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Cop.9 Derecha  $29\mu\text{g}/\text{m}^3$ , al centro hubo fuga  
 1H Cop. 10 izq.  $17\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Cop.11 centro  $16\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Cop.12 Derecha  $24\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  
 2HCop x izq.  $32\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Cop.y centro  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Cop.z Derecha  $47\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,

De la tabla N°25 B-PR-5 se observa que cuando la fundición trabaja sin extractor con un solo horno (H2) los valores medidos a 4 m son menores al LMP, y cuando funcionan ambos hornos el rotámetro más cerca al H3 sales mayor que el LMP, con  $102\mu\text{g}/\text{m}^3$ , lo que demuestra que la posición del muestreo y el número de hornos es importante.

La tabla N° 26 B-PR6 de muestreo en el laboratorio de minerales se obtiene valores hasta  $11\mu\text{g}/\text{m}^3$ , una inestabilidad de 0.001 de absorbancia da  $0.03\mu\text{g}$  del blanco sería  $0.23\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ese día no funcionaba la campana

La tabla N°27 B-PR7 son resultados solicitando que la fundición se realice con extractor de 4 m/s aún en muestreo simultáneo (a 10 cm) se obtuvo un máximo  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mucho menor que el valor  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sin usar extractor a un solo horno.

La tabla N° 30 B-PR10 y N°32 B-PR12 corrobora los resultados iniciales que cuando se realiza la fundición sin extractor y con ambos hornos funcionando a distancias de 10;100;200 cm se obtiene valores altos entre  $100\text{-}300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

De la tabla N° 32 B-PR12 se observa que cuando la copelación se hace con los dos hornos con extractor a 4 m/s con 80 botones de 35-40 g se excede el LMP hasta  $239 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La Tabla N°33 B-PR13 vuelve a mostrar que en preparación de muestras de concentrados se exceden el LMP hasta  $161 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Finalmente se muestreo el suelo en lugares localizados del área de fundición y copelación tabla N° 34 B-PR-14, encontrándose al igual que en el caso del laboratorio X valores altos en % hasta 11 %, a pesar que barren el lugar de trabajo.

## 5.2 Prueba de hipótesis

Aplicaremos los ensayos estadísticos de la t de student para medias.

Primero se evalúa si las distribuciones son semejantes (homogéneas) o diferentes (heterogéneas) mediante el ensayo de la F de Fisher.

En el ensayo t se compara el valor experimental  $t_0$  contra un  $t_c$  crítico a un nivel de confianza  $\alpha = 0.05$  (95%).  $t_0$  es de la forma  $t_0 = f(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$

Dos hipótesis una nula  $H_0$  y otra alternativa  $H_1$  se confrontan  $H_0$  vs  $H_1$

$H_0: \bar{x}_1 = \bar{x}_2$

Dos casos:

$H_1: \bar{x}_1 < \bar{x}_2 \quad \bar{x}_1 - \bar{x}_2 < 0$

$H_1: \bar{x}_1 > \bar{x}_2 \quad \bar{x}_1 - \bar{x}_2 > 0$

El  $t_c$  se evalúa por tablas según los grados de libertad=g.l. para un nivel  $\alpha$



## Región de aceptación y rechazo

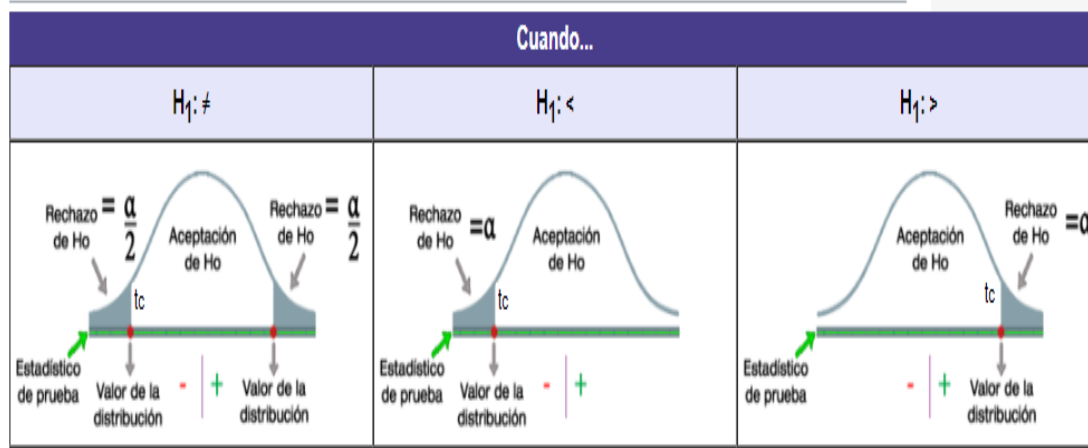


Figura.9 Región de aceptación y rechazo prueba de hipótesis

*Fuente propia***5.2.1 Hipótesis específica 1:**

“El contenido de plomo en los laboratorios de análisis de minerales es mayor en el área de ensayos al fuego y del área de preparación de muestras, que el área de ataques de muestras debido a las condiciones sub estándar de trabajo (CST)”

La contaminación de plomo se evalúa por el valor de la concentración de plomo evaluado en el aire de trabajo.

Lab. A: Área de Ataques de muestra máximo valor  $2.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , (tabla N° 17 A2) todos los valores son menores que los valores del área de fundición: Copelación entre 900-3900 y para la fundición entre 21 a  $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , (tabla N° 16 A1) CST1:Ataque bajo campana (ataque de muestras).CST2:Uso de  $\text{PbO}$ ,

y no uso de extractor (fundición). CST3: botón de Pb-Ag-Au Uso de extractor (copelación)

Lab.X: Área adyacente del laboratorio valor máximo de  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , (Tabla N°19 X2) contra valores de área de fundición de  $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (Tabla N°20 X3).  
CST4

no hay hornos ni planchas de ataque, pero hay contaminación del medio de trabajo al no haber techo de protección contra el polvo.

Lab.B: Área de Laboratorio:  $7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Tabla N°22 B-PR2); en el área de ensayos al fuego se tienen valores de hasta  $213 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la fundición con la condición subestándar de no usar extractor (tabla N° 23 B.PR-3) y en copelación usando extractor hasta  $239 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (tabla N° 32 B-PR-12)

Se concluye que el área del laboratorio de minerales es la de menor contaminación por plomo.

No es necesario evaluación estadística debido a que todos los valores del laboratorio de minerales son mucho menores que del área de fundición

Se nota claramente que las condiciones sub estándar de trabajo son las que contribuyen a los diferentes valores del contenido de plomo ocupacional

### **5.2.2 Hipótesis específica 2:**

“El contenido de plomo en el proceso de fundición a condición subestándar de no usar extractor, es mayor que el contenido de plomo en el proceso de copelación a condición subestándar de usar el extractor a velocidad de  $4 \text{ m/s}$ ”

Evaluaremos esta hipótesis usando el valor de la media muestral:

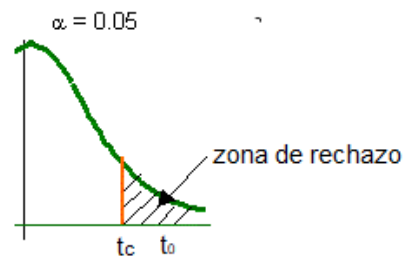
Sea  $\bar{X}_1$  la media muestral del proceso de fundición sin extractor

Sea  $\bar{x}_2$  la media muestral del proceso de copelación con extractor a velocidad de 4 m/s

La Hipótesis nula  $H_0: \bar{x}_1 = \bar{x}_2$

La Hipótesis alternativa  $H_1: \bar{x}_1 > \bar{x}_2$

Evaluamos la media según la t de Student de medias caso: un horno funcionando en ambos procesos.



**Figura.10 Zona de rechazo de ensayo de hipótesis 2**

*Fuente propia*

Si eliminamos los dos valores más altos en la fundición por ser a dos hornos funcionando y de tabla N° 23B-PR-3 y N° 24B-PR-4:

**TABLA N°12 Un solo horno; fundición (Fund.) vs copelación (cop.)**

Muestra	Pb µg/m3	ks	Muestra	Pb µg/m3	ks
Fund1	21.3941	1.709	cop1	5.0576	1.481
Fund2	22.0707		cop2	5.0579	
Fund3	27.1286		cop3	9.9587	
Fund4	31.8909		cop4	10.5002	
Fund5	32.2948		cop5	16.5742	
Fund6	36.7762		cop6	17.6396	
Fund7	41.3999		cop7	21.4824	
Fund8	60.0447	2.071	cop8	24.5668	
$\bar{x}_1$	34.1250		cop9	27.9556	
s1	12.5154		cop10	29.2360	
n1	8.0000		cop11	29.7560	
			cop12	30.2158	
			cop13	31.7266	
			cop14	32.0102	
			cop15	47.6597	2.111
			$\bar{x}_2$	22.6265	
			s <sub>2</sub>	11.8607	
			n2	15.0000	

Ensayo medias (ordenado de mayor a menor) fundición vs copelación

*Fuente propia*

Aplicamos el criterio ks nivel  $\alpha=0.05$   $k=2.58$

Si  $ks = (\bar{x} - x^*)/s > 2.58$  el dato sospechoso  $x^*$  se descarta

Los datos extremos no se descartan ej. Para 5.05:  $ks=1.481 < 2.58$

$g.l = 15+8-2 = 21$ ;  $F^{0.05}_{8;15}=2.641$ ; F distribución F de Fisher

Evaluamos el estadístico  $F_0 = s_1^2/s_2^2 = 1.1134 < 2.641$  (de un lado)

Son homogéneas. Para el caso homogéneo se tiene:

Se calcula una desviación estándar combinada. A continuación calculamos el estadístico  $t_0$ :

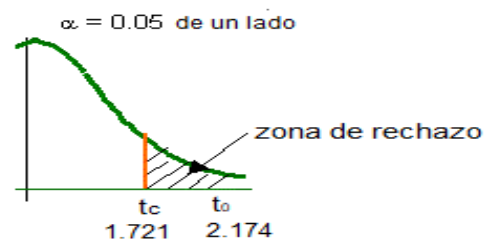
$$s^2 = \frac{(n_1-1) s_1^2 + (n_2-1) s_2^2}{(n_1-1) + (n_2-1)} \quad t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[ s^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{\frac{1}{2}}}$$

**Figura.11 Ensayo t de medias, copelación vs fundición: caso homogéneo**

Fuente Quimiometría Guillermo Ramis Ramos

Grados de libertad =g.l.=21

Hallamos el t crítico  $t_c = t^{0.05}_{21} = 1.721$  ,  $t_0 = 2.174$



**Figura.12 Zona de rechazo de ensayo de hipótesis 2**

Como  $t_0$  cae en la zona de rechazo se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$

Fuente propia

### 5.2.3 *Hipótesis específica 3:*

El contenido de plomo determinado en un punto del área de ensayos al fuego en la fundición con uso de extractor (un solo horno) es menor que la fundición sin extractor (un solo horno) a velocidad de extractor de 4 m/s” y si el número de hornos simultáneos sin extractor en la fundición es menor; también es menor el contenido de plomo” Como en el laboratorio B solo no se usa extractor en la fundición compararemos los valores de fundición con y sin extractor.

Sea P la proposición contenido de plomo en fundición es menor con uso de extractor que sin extractor.

Sea Q la proposición contenido de plomo en la fundición a un horno es menor que el contenido de plomo en fundición a dos hornos, sin extractor.

Si la proposición P es verdadera y la proposición Q es verdadera, la hipótesis específica 3 es verdadera.

Sea  $\bar{x}_1$  la media del contenido de plomo en la fundición sin extractor

Sea  $\bar{x}_2$  la media del contenido de plomo en la fundición con extractor

P es verdadera si  $\bar{x}_1 > \bar{x}_2$ . Hipótesis nula  $H_0: \bar{x}_1 = \bar{x}_2$

Hipótesis alternativa  $H_1: \bar{x}_1 > \bar{x}_2$  De tablas N° 23 B-PR-3 y N° 27 B-PR-7

**TABLA N°13 Fundición sin extractor vs fundición con extractor**

Muestra	Pb µg/m3	Ks	muestra	Pb µg/m3	Ks
Fund1	21.3941329	1.01721085	Fund1	4.87267037	1.69950472
Fund2	22.0707051		Fund2	7.34608209	
Fund3	27.128575		Fund3	9.01220457	
Fund4	31.8908551		Fund4	11.4754529	
Fund5	32.2947788		Fund5	12.469677	
Fund6	36.7762128		Fund6	13.0597015	
Fund7	41.3999146		Fund7	15.3995647	
Fund8	60.0446722	2.72662913	Fund8	15.571205	
n1	8		Fund9	17.1574904	1.30646138
Fundición sin extractor			n2	9	
$\bar{X}_1$	34.1249808		Fundición con extractor		
$V_{\bar{X}_1}=S_1^2$	156.6364		$\bar{X}_2$	11.8182276	
S	12.5154464		$V_{\bar{X}_2}=S_2^2$	16.702037	

*Fuente propia*

**TABLA N°14 Fundición sin extractor vs fundición con extractor**

Muestra x1	Pb µg/m3	Ks	Muestra x2	Pb µg/m3	ks
Fund1	21.3941	1.2198	Fund1	4.8727	1.6995
Fund2	22.0707		Fund2	7.3461	
Fund3	27.1286		Fund3	9.0122	
Fund4	31.8909		Fund4	11.4755	
und5	32.2948		Fund5	12.4697	
Fund6	36.7762		Fund6	13.0597	
Fund7	41.3999	1.4833	Fund7	15.3996	
$\bar{X}_1$	30.4222		Fund8	15.5712	
s1	7.4010		Fund9	17.1575	1.3065
n1	7.0000		$\bar{X}_2$	11.8182	
			s2	4.0868	
			n2	9.0000	

*Fuente propia*

ks para 60.044 es 2.72 > 2.58 descartamos este valor nueva tabla 14 TABLA  
Se observa que todos los valores de plomo sin extractor(x1) son mayores que el contenido de plomo con extractor(x2), por consiguiente  $\bar{X}_1 > \bar{X}_2$  la proposición P debe ser verdadera.

Evaluación estadística de comprobación mediante comparación de medias:

Aplicamos el criterio ks nivel  $\alpha=0.05$   $k=2.58$

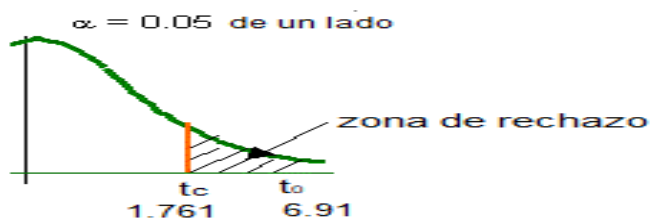
Si  $ks = (\bar{X} - x^*)/s > 2.58$  el dato sospechoso  $x^*$  se descarta

No se descarta ningún valor (columna ks)

Ensayo de la F de varianzas:

$g.l.=9+7-2=14$   $F_{0.05,16}=4.197$   $F=(s_1/s_2)^2=3.279<4.197 \Rightarrow$  homogéneas

Evaluamos la combinada el t crítico  $t_c$  y el t experimental  $t_0$  como el caso anterior (ver fig.5) se obtiene  $t_{0.05,14}=1.761$   $t_0=6.961$



**Figura.13 Zona de rechazo de ensayo de hipótesis 3**

*Fuente propia*

Como  $t_0$  cae en la zona de rechazo se acepta la hipótesis alternativa  $H_1 \bar{x}_1 > \bar{x}_2$   
 Examinemos la proposición b): contenido de plomo en fundición según número de hornos, se tiene dos casos uso de un horno y uso de dos hornos.  
 Se muestrea en el Horno 3.(Sin extractor)

De tablas N° 23B-PR3; N° 25B-PR5; N° 30B-PR10 se tiene:



**TABLA N°15 Fundición horno 3 (un solo horno) vs horno 3 (con 2Hornos)**

1 horno H3		ks	2 hornos H3		
Muestra	Pb $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Muestra	Pb $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ks
Fund1	21.3941	1.0172	Fund1	102.5109	1.30316
Fund2	22.0707		Fund2	158.341364	
Fund3	27.1286		Fund3	162.8966	
Fund4	31.8909		Fund4	186.09456	
Fund5	32.2948		Fund5	213.4815	
Fund6	36.7762		Fund6	293.5738	1.67375
Fund7	41.3999				
Fund8	60.0447	2.071			
n1	8.0000				
Fundición sin extractor			n2	6.0000	
$\bar{X}_1$	34.125		Fundición sin extractor		
$V_{x1}=s_1^2$	156.6364		$\bar{X}_2$	186.150	
$s_1$	12.5154464		$V_{x2}=s_2^2$	4119.28631	

*Fuente propia*

Cuando trabajan los dos hornos, el Horno 2 emana los vapores de plomo en la dirección del Horno 3.

Todos los valores de fundición con un solo horno son menores al menor valor cuando hay dos hornos trabajando.

Sea  $\bar{X}_1$  la media del contenido de plomo en la fundición con un horno sin extractor

Sea  $\bar{X}_2$  la media del contenido de plomo en la fundición con dos hornos sin extractor

Caso b) es verdadera si  $\bar{X}_1 < \bar{X}_2$ .

Hipótesis nula  $H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$  Hipótesis alternativa  $H_1: \bar{X}_1 < \bar{X}_2$

$F_{0.05, 6, 8} = 4.652$

Evaluamos  $F = s_2^2/s_1^2 = 26.298 > 4.652 \Rightarrow$  caso heterogéneo

En el caso de ser heterogéneas las las dos medias muestrales :

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[ \left( \frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right) \right]^{\frac{1}{2}}}$$

$$g.l. = \frac{\left( \frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right)^2}{\frac{\left( \frac{s_1^2}{n_1} \right)^2}{n_1 + 1} + \frac{\left( \frac{s_2^2}{n_2} \right)^2}{n_2 + 1}} - 2$$

El valor de g.l. es el número entero más próximo

*Figura.14* **Ensayo t medias caso heterogéneo**

$$g.l. = 5.4 \approx 5 \quad t_{c^{0.05}}_5 = -2.05 \text{ (1 solo lado)}$$

*Fuente: Quimiometría Guillermo Ramis Ramos pag.68 Ed.SÍNTESIS S.A.*

Evaluamos  $t_0 = -6.15$  que cae en la región de rechazo, se rechaza la hipótesis nula se acepta la alternativa  $H_1: \bar{x}_1 < \bar{x}_2$



*Fig.15* **zona de rechazo caso  $\bar{x}_1 < \bar{x}_2$**

*Fuente propia*

#### **5.2.4 Hipótesis General:**

Un análisis de la hipótesis específicas desde la hipótesis 1 a la hipótesis 3 que han sido verificadas, en las cuales las diferencias de ellas son los cambios en cuatro condiciones Sub estándar de trabajo: Uso y Velocidad del Extractor; número de hornos funcionando; limpieza del área de trabajo; material de la muestra de ensayo variando el contenido de plomo al variar estas condiciones.

De la hipótesis específica 1 demuestra que la condición de trabajo

subestándar de la materia prima de trabajo (litargirio) que se usa en el área de ensayos al fuego es la que produce mayor contaminación de plomo

Apareciendo una nueva condición subestándar de trabajo del cual varía el contenido de plomo evaluado: El contenido de plomo evaluado depende de la posición del punto de muestreo, punto de muestreo en la dirección de la trayectoria de las emisiones de plomo se obtienen valores más altos en contenido de plomo en uso de 2 hornos que, en puntos que no están en la dirección de trayectoria, valores bajos.

De la hipótesis específica 2 demuestra que la condición de trabajo subestándar de no usar extractor da valores más altos de contenido de plomo.

De la hipótesis específica 3 demuestra que la condición de trabajo subestándar de no usar extractor y trabajar con más de un horno aumentan en demasía los valores del contenido de plomo evaluado.

Por lo que se concluye que la hipótesis general “El contenido de plomo ambiental en el área de trabajo de los laboratorios está relacionado con las condiciones subestándar de trabajo.” Es verdadera



### 5.3 Resultados

TABLA N°16 A1 RESULTADOS DEL LABORATORIO A

Resultados LABORATORIO A Área de Fundición													
Fecha	Proceso	Toma Muestra	minutos	Flujo l/min	Rot.	ppm filtro	fiola ml	ppm Imp	fiola Imp.	Carga	Ext,m/s	m <sup>3</sup>	ug/m <sup>3</sup>
01-Ago	Copelación	Cost <sub>1</sub>	60	2.14	3	88.7	10	No hay	No	25 gPb,14 Cop.	No hay	0.13	690.81
01-Ago	Copelación	Cost <sub>2</sub> PAB	2	2.14	3	7.2	10	No hay	No	25.8gPb,14Cop.	No hay	0.004	1682.24
01-Ago	Fundición	Cost <sub>1</sub>	60	2.14	3	2.8	10	No hay	No	120gPbO,8 Cris.	No hay	0.13	21.81
09-Ago	Fundición	Cost <sub>2</sub>	60	2.14	3	2.19	10	No hay	No	120gPbO,8 Cris.	No hay	0.13	17.06
09-Ago	Fundición	Arr <sub>1</sub>	60	2.14	3	13	10	No hay	No	120gPbO,8 Cris.	No hay	0.13	101.71
09-Ago	Fundición	Cost <sub>3</sub>	60	2.14	3	2.6	10	No hay	No	120gPbO,8 Cris.	No hay	0.13	20.25
09-Ago	Fundición	Arr <sub>2</sub>	50	2.14	3	9.76	10	No hay	No	120gPbO,8 Cris.	No hay	0.13	76.01
09-Ago	Fundición	Cost <sub>4</sub>	60	2.14	3	2.38	10	No hay	No	120gPbO,8 Cris.	No hay	0.13	91.21
09-Ago	Fundición	Arr <sub>3</sub>	60	2.14	3	11	10	No hay	No	120gPbO,8 Cris.	No hay	0.13	82.94
09-Ago	Copelación	Arr <sub>1</sub>	60	2.14	3	500.4	10;dil1/25	No hay	No	35gPb,14Cop.	No hay	0.13	3897.20
09-Ago	Copelación	Arr <sub>2</sub>	60	2.14	3	412	10	No hay	No	35gPb,14Cop.	No hay	0.13	3208.72

Observación : El horno tiene dos fugas al interior de la sala de fundición la puerta y un ducto encima del horno

Arr<sub>1</sub> Muestreo arriba y Cost. muestreo al costado del horno PAB muestreo a puerta ligeramente abierta(no tiene buen cierre)

El rotámetro tiene parámetros de calibración  $m = 0.872$   $b = 0.4$ . Lectura rotámetro 2:  $2 \times 0.872 + 0.4 = 2.14$  L/m

Laboratorio A trabaja en cada fundición 8 crisoles con carga de 120 g de PbO que equivalen a  $8 \times 120 \times (207/223.2) = 891.18$  g de Pb cada botón de plomo tiene en promedio 35 g .(El laboratorio carece de impresora) Siempre  $\Phi_v = \Phi_{prom} \times m + b$ .  $\Phi_v$  =flujo verdadero l/min

$\Phi_{prom}$  = flujo promedio del flujo inicial y final en l/min. Laboratorio A no tiene sistema de extracción

Se evaluará la velocidad de la campana del horno en la entrada del horno y se medirá la presión negativa producida por la campana usando un manómetro de agua de ser posible. El flujo se calcula según la ecuación  $\text{flujo} = A \times V$   $A = \text{Área m}^2$   $V = \text{m/s}$  Donde A es el área de la entrada del horno y V la velocidad medida.

TABLA N°17 A2 RESULTADOS DEL LABORATORIO A EN EL AREA DE MINERALES

ROT .N°	3 Resultados LABORATORIO A de laboratorio minerales (Curva 1)													
3	Fecha	Proceso	Toma Muestra	minutos	Flujo l/min	°C	ppm filtro	viola ml	ppm Imp	fiola Imp.	Carga	Ext,m/s	m³	ug/m³
3	12-ago	Ataque químico	a 1 m der.	45	2,14	16	0,24	10	No hay	No	0	No hay	0,10	2,49
3	01-ago	Ataque químico	a 1 m izq.	45	2,14	16	0,12	10	No hay	No	0	No hay	0,096	1,25
3	01-ago	Ataque químico	a 2 m der.	45	2,14	16	0,03	10	No hay	No	0	No hay	0,10	0,31
3	09-ago	Ataque químico	a 2 m izq.	45	2,14	16	0,04	10	No hay	No	0	No hay	0,10	0,42
3	09-ago	Ataque químico	a 3 m der.	45	2,14	16	0,06	10	No hay	No	0	No hay	0,10	0,62
3	09-ago	Ataque químico	a 3 m der.	45	2,14	16	0,12	10	No hay	No	0	No hay	0,10	1,25

El laboratorio hace ensayos de vía clásica y preparan reactivos de calidad industrial

En el laboratorio A se realizaron 8 ensayos de fundición; 3 de copelación y 6 ensayos en el laboratorio de minerales.

Flujo= $2 \times 0.872 + 0.4 = 2.14$        $m = 0.872$        $b = 0.4$       ROT.= Rotámetro

Nota: Después de realizar estos ensayos verificamos que no es necesario usar Impingers(Imp.) en el muestreo.

*Fuente propia*

**TABLA N°18 X1 Resultados Laboratorio X** (sólo se muestreó piso en horas fuera de trabajo)

			Plomo en el suelo Lab. X					
Mtra	peso g	dil	2da -3ra dil	Abs	C	ppm	%	Observaciones
1	0.25748	a 10 ml	1-->25-1->10	0.0951	9.832	95463.725	9.54637	Sólido de color oscuro a 2 m del horno
2	0.68952	a 10 ml	1-->25-1->10	0.3613	43.54	157863.44	15.7863	Sólido de color oscuro a 2 m del horno
3	0.49196	a 10 ml	1-->25-1->10	0.2529	28.115	142872.39	14.2872	Sólido de color oscuro a 2 m del horno
4	0.30526	a 10 ml	1-->25-1->10	0.0998	10.334	84632.772	8.46328	Sólido de color oscuro a 2 m del horno
5	0.31223	a 10 ml	1-->25-1->10	0.20006	21.914	175463.6	17.5464	Sólido de color oscuro a 2 m del horno
6	0.25597	a 10 ml	1-->25-1->10	0.151	16.052	156776.18	15.6776	Sólido de color oscuro a 1 m del horno
7	0.17446	a 10 ml	1-->25-1->10	0.0229	2.358	33789.981	3.379	Sólido amarillo(restos de copelas) 4 m
8	0.25416	a 10 ml	1-->25-1->10	0.1023	10.714	105386.37	10.5386	Sólido de color oscuro a 4 m del horno
9	0.25	a 10 ml	1-->25-1->10	0.1209	12.728	127280	12.728	Sólido de color oscuro a 5 m del horno
10	0.25	a 10 ml	1-->25-1->10	0.1187	12.48	124800	12.48	Sólido de color oscuro a 6.3 m del horno
7	0.25	a 10 ml	1-->25-10>10	0.0229	23.458	23458	2.3458	Sólido de color oscuro a 4 m del horno 4 m

Nota: (Lecturas ver curva X1)

1 ppm de Pb en aire equivale  $1\mu\text{gPb}/\text{m}^3$

*Fuente propia*



Filtro

Sólido color oscuro

muestra del suelo del piso,  
observése el color oscuro de la muestra

Informe de SpectrAA.		10:50 a.m. 08/02/2018	
PATRÓN 1	5.000	1.4	0.0484
PATRÓN 2	10.000	0.7	0.0964
PATRÓN 3	20.000	0.5	0.1844
PATRÓN 4	50.000	0.3	0.3993
Ajuste de curva		= Racional Nuevo	
Conc. característica		= 0.453 mg/L	
r		= 1.0000	
Concentración calculada		= 0.005 5.008 10.080 19.865 50.055	
Residuales		= -0.005 -0.008 -0.080 0.135 -0.055	
Conc =		A	
		(-0.00930 x A x A - 0.00064 x A + 0.00971)	
BK	-0.009	>100	-0.0001
STD	20.045	0.7	0.1859
M1 - 1/25 - 1/10	16.052	0.5	0.1510
M2 - 1/25 - 1/10	2.358	1.4	0.0229
M3 - 1/25 - 1/10	10.714	1.2	0.1023
M4 - 1/25 - 1/10	12.728	0.6	0.1209
M5 - 1/25 - 1/10	12.480	0.5	0.1187
M2 - 1/25	23.458	0.3	0.2146
Blanco	-0.008	>100	-0.0001
STD	9.918	2.8	0.0949

Figura. N°16 Muestreo suelo Lab.x , Curva X1 lecturas Lab.x suelo .

Fuente propia



**TABLA N° 19X2 RESULTADOS LABORATORIO X BLANCOS Y ÁREA DE MINERALES**

Laboratorio X de minerales parte externa ( curva y ) BK MA(medioambiente) Bki lab.Min. Sin extractor Lecturas Curva X2 Foto 23													
M	b	Muestra	C ppm	tiempo min	Rot	Φ1 l/min	Φ1 l/min	Φprom	Φv	carga	Vfiola ml	μgPb/m <sup>3</sup>	LMP 8h
0.815	0.713	Blanco1	0.000	60	1	2	1.8	1.9	2.2615	0	10	0	75 μgPb/m <sup>3</sup>
0.938	0.6613	Blanco2	0.000	60	2	2	2	2	2.5373	0	10	0	
0.938	0.6613	Blanco3	0.000	60	2	2	2	2	2.5373	0	10	0	
0.872	0.4	Blanco4	0.000	60	3	2	2	2	2.144	0	10	0	
0.938	0.6613	Blanco5	0.000	60	3	2	2	2	2.5373	0	10	0	
0.938	0.6613	Blanco6	0.000	60	3	2	2	2	2.5373	0	10	0	
0.938	0.6613	Blanco7	0.000	60	3	2	2	2	2.5373	0	10	0	
0.938	0.6613	Blanco8	0.000	60	3	2	2	2	2.5373	0	10	0	
0.938	0.6613	Blanco9	0.014	60	3	2	2	2	2.5373	0	10	0.91961271	
0.872	0.4	Blanco10	0.011	60	3	2	2	2	2.144	0	10	0.8550995	
0.815	0.713	Bk1	0.106	120	1	2	1.8	1.9	2.2615	0	10	3.90596212	
0.938	0.6613	Bk2	0.366	120	2	2	2	2	2.5373	0	10	12.0206519	
0.938	0.6613	Bk3	0.510	120	2	2	2	2	2.5373	0	10	16.7500887	
0.872	0.4	Bk4	0.137	120	3	2	2	2	2.144	0	10	5.32493781	
0.872	0.4	Bk5	0.080	120	3	2	2	2	2.144	0	10	3.10945274	
0.815	0.713	Bk6	0.489	120	1	2	1.8	1.9	2.2615	0	10	18.0190139	
0.938	0.6613	Bk7	0.357	120	2	2	2	2	2.5373	0	10	11.7250621	
0.938	0.6613	Bk8	0.112	120	2	2	2	2	2.5373	0	10	3.67845085	
0.872	0.4	Bk9	0.069	120	3	2	2	2	2.144	0	10	2.68190299	
0.872	0.4	Bk10	0.362	120	3	2	2	2	2.144	0	10	14.0702736	

Bk1-Bk10 muestreo tomado como blanco en area de ensayos externo Lab. Minerales, muestras atacadas en campana sin extractor, Blanco 1-10 muestreo tomado como blanco en area de ensayos Lab- Medio ambiente (tienen campana con extractor)  
Velocidad del extractor 1.8 m/s

*Nota:* m es la penddiente y b la ordenada en el origen, de la curva de calibración de cada rotámetro

Fuente propia

BK	0.007	>100	0.0002
STD	1.998	2.3	0.0615
BK 1	0.106	24.4	0.0033
BK 2	0.366	7.9	0.0114
BK 3	0.510	2.5	0.0159
BK 4	0.137	21.2	0.0043
BK 5	0.080	41.3	0.0025
BK 6	0.489	2.9	0.0152
Bk 7	0.357	4.6	0.0111
Bk 8	0.112	9.6	0.0035
Bk 9	0.069	18.3	0.0022
Bk 10	0.362	12.2	0.0113
STD	2.050	1.9	0.0631
F1	0.560	2.5	0.0174
F2	0.335	3.2	0.0104
F3	0.590	5.9	0.0183
F4	0.309	17.9	0.0096
F5	0.576	5.9	0.0179
F6	0.322	4.7	0.0100
C1	0.282	6.2	0.0088
C2	0.190	22.8	0.0059
C3	0.119	4.1	0.0037
C4	0.307	6.8	0.0096
C5	0.215	25.6	0.0067
C6	0.154	7.7	0.0048
STD	2.043	1.4	0.0629

Curva2 Lab, X			
Muestra ID	Concentración mg/L	%RSD	Abs media
CERO CAL	0.000	>100	0.0002
PATRÓN 1	2.000	2.2	0.0621

Informe de SpectrAA.		02:33 p.m. 20/06/2018	
PATRÓN 2	5.000	0.4	0.1463
PATRÓN 3	10.000	1.4	0.2598

Ajuste de curva	= Racional Nuevo
Conc.característica	= 0.141 mg/L
r	= 1.0000
Concentración calculada	= 0.008 2.015 4.971 10.016
Residuales	= -0.008 -0.015 0.029 -0.016

Conc = A
$(-0.07411 \times A \times A - 0.00072 \times A + 0.03113)$

Figura. 17 Lecturas y curva Pb AAS Lab. X  
Fuente propia

**TABLA N°20X3 RESULTADOS CONTENIDO PLOMO LABORATORIO X FUNDICION Y COPELACIÓN**

Laboratorio X de minerales ensayos al fuego curva X2 ) Fotos 24,25,26													
M	b	Muestra	C ppm	tiempo min	Rot	Φ1 l/min	Φ1 l/min	Φprom	Φv	carga	Vfiola ml	μgPb/m <sup>3</sup>	LMP 8h
0.815	0.713	F1	0.560	60	1	2	1.8	1.9	2.2615	40 c/180 g PbO	10	41.2705431	75 μgPb/m <sup>3</sup>
0.938	0.6613	F2*	0.335	60	3	2	2	2	2.5373	40 c/180 g PbO	10	22.0050185	
0.938	0.6613	F3	0.590	60	1	2	2	2	2.5373	40 c/180 g PbO	10	38.7551071	
0.872	0.4	F4*	0.309	60	3	2	2	2	2.144	40 c/180 g PbO	10	24.0205224	
0.872	0.4	F5	0.576	60	3	2	2	2	2.144	40 c/180 g PbO	10	44.7761194	
0.815	0.713	F6*	0.322	60	1	2	1.8	1.9	2.2615	40 c/180 g PbO	10	23.7305623	
0.938	0.6613	C1	0.282	75	2	2	2	2	2.5373	36 copelas /35g Pb	10	14.818902	
0.938	0.6613	C2	0.190	75	2	2	2	2	2.5373	37 copelas /35g Pb	10	9.98436658	
0.872	0.4	C3	0.119	75	3	2	2	2	2.144	38 copelas /35g Pb	10	7.40049751	
0.872	0.4	C4	0.307	75	3	2	2	2	2.144	39 copelas /35g Pb	10	19.0920398	
0.815	0.713	C5	0.215	75	1	2	1.8	1.9	2.2615	40 copelas /35g Pb	10	12.6759525	
0.938	0.6613	C6	0.154	75	2	2	2	2	2.5373	41 copelas /35g Pb	10	8.09259186	

Muestreo a 10 cm F=Fundición sin extractor

C=Copelación

\*Muestreo a 2.7 m de la puerta del Horno. El horno es de abertura vertical. Usan extractor a 2m/s en copelación

En el laboratorio X se realizaron : 10 ensayos de toma de muestra de suelos; 20 blancos ;6 ensayos de fundición ;6 ensayos de copelación.

No se pudo realizar más ensayos debido a que solo hubo permiso del jefe del laboratorio, y cuando la gerencia lo supo se prohibió seguir con los ensayos.

Fuente propia

## RESULTADOS LABORATORIO B

### TABLA N°21 B-PR-1 RESULTADOS LABORATORIO B AREA DE PREPARACION DE CONCENTRADOS

Laboratorio B de preparación de concentrados 29/09/17 (curva 1) Foto 4 y 5													
m	b	Muestra	C ppm	tiempo min	Rot	Φ1 l/min	Φ1 l/min	Φprom	Φv	Mtras.	Vfiola ml	μgPb/m <sup>3</sup>	LMP 8h
0.815	0.713	M.Ch	2.890	480	1	2	1.8	1.9	2.2615	34	10	26.6231852	75 μgPb/m <sup>3</sup>
0.815	0.713	M-1	1.150	480	1	2	1.8	1.9	2.2615	15	10	10.594001	
0.938	0.6613	M-2	2.240	480	2	2	2	2	2.5373	32	10	18.3922542	
0.872	0.4	M-3	1.240	480	3	2	2	2	2.144	13	10	12.0491294	
0.815	0.713	M-4	1.450	480	1	2	2	2	2.343	14	10	12.8930147	
0.815	0.713	M-5	3.360	480	1	2	2	2	2.343	28	10	29.8762271	
0.815	0.713	PM1*	11.6838	45	1	2	2	2	2.343	36	10	1108.15194	
0.872	0.4	PM3*	10.7745	45	3	2	2	2	2.144	36	10	1116.75995	
*Para las muestras PM1 y PM3 solo se ha tomado en cuenta los 15 minutos que demora el proceso de molienda realizado tres veces a 15 min c/u, debe observarse que siempre usan respiradores con cartuchos de filtro (realizado el 16/02/18 curva 4)													

Velocidad de extracción 4-4.2 m/s

Por Curva 1			
Curva 1	c ppm	Abs	
	2	0.0344, 0.0346, 0.0343	
	5	0.0845, 0.0843, 0.0846	
	10	0.1619, 0.1621, 0.1616	
	cont. 5ppm	4.927	0.0834, 0.0835, 0.0834
Pb, LAB-1, 0.3053, mg/L, 3.4, 0.0053, 0.0051, 0.0054			
Pb, LAB-2, -0.0108, mg/L, 85.7, -0.0002, -0.0001, -0.0003			
Pb, LAB-3, 0.2703, mg/L, 0.4, 0.0047, 0.0047, 0.0046			
Pb, LAB-4, -0.0303, mg/L, 42.7, -0.0005, -0.0007, -0.0004			
Pb, LAB-5, 0.2816, mg/L, 4.8, 0.0049, 0.005, 0.0047			
Pb, MCh, 2.8937, mg/L, 1.2, 0.0495, 0.0491, 0.0499			
Pb, M-1, 1.1591, mg/L, 1.4, 0.02, 0.0201, 0.0198			
Pb, M-2, 2.2409, mg/L, 0.4, 0.0385, 0.0383, 0.0386			
Pb, M-3, 1.245, mg/L, 0.4, 0.0214, 0.0215, 0.0214			
Pb, M-4, 1.4569, mg/L, 0.1, 0.0251, 0.025, 0.0251			
Pb, M-5, 3.3683, mg/L, 0, 0.0575, 0.0576, 0.0575			

Figura.18 Datos Curva y resultados Tablas 22BPR-1 y B-PR2

Fuente propia

**TABLA N°22 B-PR-2 RESULTADOS CONTENIDO DE PLOMO BLANCOS Y LABORATORIO DE MINERALES**

Laboratorio B de minerales ( curva 1 )													
m	b	Muestra	C ppm	tiempo min	Rot	$\Phi_1$ l/min	$\Phi_1$ l/min	$\Phi_{prom}$	$\Phi_v$	carga	Vfiola ml	$\mu\text{gPb}/\text{m}^3$	LMP 8h
0.815	0.713	Lab-1	0.305	180	1	2	1.8	1.9	2.2615	0	10	7.49256885	75 $\mu\text{gPb}/\text{m}^3$
0.938	0.6613	Lab-2	0.010	180	2	2	2	2	2.5373	0	10	0.21895541	
0.938	0.6613	Lab-3	0.270	180	2	2	2	2	2.5373	0	10	5.911796	
0.872	0.4	Lab-4	0.030	180	3	2	2	2	2.144	0	10	0.77736318	
0.872	0.4	Lab-5	0.280	180	3	2	2	2	2.144	0	10	7.25538972	

La inestabilidad de la señal da hasta 0.001 de absorbancia que equivale a 0.01 ppm y 0.26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en tres horas

$\Phi_v = \phi_{prom} \times m + b$   $\Phi_v$  flujo verdadero a partir de la curva de calibración (m pendiente de la curva y b ordenada)

### *Fuente propia*

Algunos blancos de fundición y del laboratorio de minerales:

Bk F2: Absorbancia 0.0012; 0.05 ppm

Bk F4: Absorbancia 0.0012; 0.05 ppm

Bk F5: Absorbancia 0.002; 0.08 ppm

Bk F8: Absorbancia 0.0011; 0.05 ppm

Lab1: Absorbancia 0.014; 0.0034 ppm

Lab2: Absorbancia 0.04; 0.009 ppm

**TABLA N°23 B-PR-3 RESULTADOS CONTENIDO DE PLOMO AREA DE ENSAYOS AL FUEGO: FUNDICION**

Ensayos al fuego (fundición , 24-28 crisoles, c/u 135 g PbO ,no usan extractor) 29/09/17 curva 2 fotos 7y 8													
m	b	Muestra	C ppm	min	Rot	Φ1 l/min	Φ1 l/min	Φprom	Φv	carga	Vfiola ml	μgPb/m <sup>3</sup>	LMP 8h
0.938	0.661	F1-H3	0.486	60	2	2	2	2	2.5373	24 Cri.	10	31.8909	75 μgPb/m <sup>3</sup>
0.815	0.713	F2-H2	0.517	60	1	2	2	2	2.343	24Cri.	10	36.7762	
0.938	0.661	F3-H3	3.250	60	2	2	2	2	2.5373	28 Cri	10	213.4815	
0.815	0.713	F4.H2	2.290	60	1	2	2	2	2.343	28 Cri.	10	162.8966	
0.938	0.661	F5-H3	0.914	60	2	2	2	2	2.537	28 Cri.	10	60.0447	
0.938	0.661	F6-H3	0.336	60	2	2	2	2	2.5373	24 Cri.	10	22.0707	
0.815	0.713	F7-H2	0.582	60	1	2	2	2	2.343	24 Cri.	10	41.3999	
0.938	0.661	F8-H3	0.413	60	2	2	2	2	2.5373	24 Cri.	10	27.1286	
0.815	0.713	F9-H2	0.454	60	1	2	2	2	2.343	24 Cri.	10	32.2948	
0.938	0.661	F10-H3	0.326	60	2	2	2	2	2.5373	24 Cri.	10	21.3941	

*Fuente propia*

Cada fundición se toman 24 crisoles con 60 g de PbO que equivalen a 55.7 g de Pb. F=fundición H=Horno

F1 y F2 muestreo separados ;F3 y F4 casi simultáneos;F5 solo ;F6 y F7 separados;F8,F9;F10 separados (todos los muestreos cerca de la salida) Observación : El contenido de Pb se reduce drásticamente en la fundición al usar el extractor especialmente cuando los dos o tres hornos operan del valor 213 a menos de 20 μg/m<sup>3</sup>(Tabla 27 PR-7)

Cada crisol contiene 150 g de PbO

Curva 2	c ppm	Abs
	2	0.0334,0.0329,0.034
	5	,0.0822,0.0823,0.0821
	10	,0.1589,0.1588,0.159
cont. 5ppm	4.9757	0.0834,0.0835,0.0834

Pb,F-1,0.4855,,mg/L,0.8,0.0081,0.0081,0.0082

Pb,F-2,0.5169,,mg/L,1.1,0.0086,0.0086,0.0087

Pb,F-3,3.2509,,mg/L,0.2,0.054,0.0539,0.054

Pb,F-4,2.2981,,mg/L,0.9,0.0383,0.038,0.0385

Pb,F-5,0.9194,,mg/L,1.6,0.0154,0.0155,0.0152

Pb,F-6,0.3361,,mg/L,0.7,0.0056,0.0056,0.0056

Pb,F-7,0.582,,mg/L,0.7,0.0097,0.0098,0.0097

Pb,F-8,0.4136,,mg/L,7,0.0069,0.0073,0.0066

Pb,F-9,0.4538,,mg/L,1.2,0.0076,0.0077,0.0075

Pb,F-10,0.3257,,mg/L,4.4,0.0054,0.0056,0.0053

**Figura. 19 DATOS TABLA 21 B- PR-3**

Pb,COP-1,0.393,,mg/L,2.5,0.0066,0.0065,0.0067

Pb,COP-2,0.4599,,mg/L,0.6,0.0077,0.0077,0.0077

Pb,COP-3,0.4863,,mg/L,2.8,0.0081,0.008,0.0083

Pb,COP-4,0.4114,,mg/L,4,0.0069,0.0067,0.0071

Pb,COP-5,0.3016,,mg/L,3,0.005,0.0049,0.0051

Pb,COP-6,0.077,,mg/L,13,0.0013,0.0014,0.0012

Pb,COP-7,0.1131,,mg/L,8.4,0.0019,0.002,0.0018

Pb,COP-8,0.0711,,mg/L,9.9,0.0012,0.0013,0.0011

Pb,COP-9,0.4528,,mg/L,4.2,0.0076,0.0078,0.0073

Pb,COP-10,0.1899,,mg/L,0.3,0.0032,0.0032,0.0032

Pb,COP-11,0.2326,,mg/L,8,0.0039,0.0037,0.0041

Pb,STD CONTROL 29-09-17,4.8581,,mg/L,0.1,0.0801,0.0801,0.0801

**Figura.20 Datos de resultados Tabla22 B-PR4**

**TABLA N°24 B-PR-4 RESULTADOS CONTENIDO DE PLOMO AREA DE ENSAYOS AL FUEGO: COPELACION**

Ensayos al fuego (copelación 50-80 botones 30 g Pb c/u usan extractor) 29/09/17 curva 2 foto 8,9,10,11,12													
m	b	Muestra	C ppm	tiempo min	Rot	$\Phi 1$ l/min	$\Phi 1$ l/min	$\Phi$ prom	$\Phi$ v	Carga <sup>5**</sup>	Vfiola ml	$\mu\text{gPb}/\text{m}^3$	LMP 8h 75ppm
0.815	0.713	Cop-1-H2	0.393	60	1	2	2	2	2.343	56	10	27.95561246	50 botones
0.938	0.6613	Cop-2-H3	0.460	60	2	2	2	2	2.5373	80	10	30.21584624	80 botones..
0.938	0.6613	Cop-3-H3	0.483	60	2	2	2	2	2.5373	80	10	31.72663855	80 botones.
0.815	0.713	Cop-4-H2	0.411	60	1	2	2	2	2.343	88	10	29.23602219	50 botones
0.815	0.713	Cop-5-H-2	0.302	60	1	2	2	2	2.343	80	10	21.48242993	50 botones
0.938	0.6613	Cop-6-H-3	0.077	60	2*	2	2	2	2.5373	32	10	5.057869914	Hubo fuga
0.872	0.4	Cop-7-H-3	0.113	60	3*	1.6	1.6	1.6	1.7952	81	10	10.50022282	50 botones
0.815	0.713	Cop-8-H-3	0.071	60	1*	2	2	2	2.343	81	10	5.057618438	Hubo fuga
0.938	0.6613	Cop-9-H-3	0.453	60	2*	2	2	2	2.5373	81	10	29.75603988	50 botones
0.872	0.4	Cop-10-H2	0.190	60	3*	1.6	1.6	1.6	1.7952	84	10	17.63963161	50 botones
0.815	0.713	Cop-11-H-2	0.233	60	1*	2	2	2	2.343	84	10	16.57419263	50 botones.
0.938	0.6613	Cop-12-H-2	0.374	60	2*	2	2	2	2.5373	84	10	24.56679673	50 botones
0.815	0.713	Cop-x**	0.450	60	1	2	2	2	2.343	72	10	32.01024328	80 botones
160.815	0.713	Cop-y**	0.140	60	1	2	2	2	2.343	72	10	9.958742353	Hubo fuga
0.815	0.713	Cop-z**	0.670	60	1	2	2	2	2.343	72	10	47.65969555	80 botones

\* Muestreo simultáneo H-2 y H-3 Cop 1 a cop6 (foto8) , Cop 7 y10 a la izquierda; Cop 8y11 al centro; Cop 9y12 a la derecha al lado de la abertura de la puerta . \*\*Realizado el 15/04/18

H = Horno Cop x a la izquierda ; Cop.y al centro , Cop.z a la derecha (al lado de la abertura de la puerta)

La concentración de Pb en copelación fue mucho menor que en la fundición contradiciendo la hipótesis general que la fundición produce *menos* emisión de plomo en este caso pues en la fundición no se usa el extractor y en copelación si.

Copelación con extractor. Velocidad del extractor en salida del horno 3.9-4.1 m/s

\*\*Carga es el número de botones de Pb-Ag-Au cada uno pesa en promedio 30 gramos.

*Fuente propia*



**TABLA N° 25 B-PR-5 RESULTADOS CONTENIDO DE PLOMO AREA DE ENSAYOS AL FUEGO: Fundición a 4 m del horno**

Muestreo a 4 m del horno en la fundición sin extractor según curva 3 y 4 (16/02/18 ) Foto 13 y 14													
m	b	Muestra	C ppm	tiempo min	Rot	Φ1 l/min	Φ1 l/min	Φprom	Φv	carga	Vfiola ml	μgPb/m³	Observación
0.815	0.713	4MR1curv.3	0.2456	60	1	2	2	2	2.343	24 Cri.	10	17.4705	H3 y H2
0.938	0.661	4MR2curv3	0.4912	60	2	1.8	1.8	1.8	2.3497	24Cri.	10	34.8413	H3 y H2
0.872	0.4	4MR3curv3	1.3187	60	3	2	2	2	2.144	28 Cri	10	102.511	H3 y H2
0.815	0.713	4MR1.1curv.4	0.5661	60	1	2	2	2	2.343	28 Cri.	10	40.2689	H2 solo
0.938	0.661	4MR2.1curv.4	0.3245	60	2	1.8	1.8	1.8	2.3494	24 Cri.	10	23.0201	H2 solo
0.872	0.4	4MR3.1curv.4	0.3629	60	3	2	2	2	2.144	24 Cri.	10	28.2105	H2 solo

Muestras 4MR1,4MR2,4MR3 evaluadas por curva 3 y muestras 4MR1.1,4MR2.1,4MR3.1 por curva 4

El horno 2 al estar en contra de la dirección del horno 3 no se ve afectado por emisión de Pb de este,H3 afectado por H2

Al barrer el lugar varias veces levanta polvo de Pb del suelo

Curva 3					Curva 4					Resultado B-PR-5				
16/02/2018	C ppm	Absorbancias			16/02/2018	C ppm	Absorbancias			Muestra	C ppm	Absorbancias		
CERO CAL	0				CERO CAL	0				4MR1	0.2456	0.0074	0.0074	0.0074
PATRÓN 1	1	0.0302	0.03	0.0304	PATRÓN 1	1	0.0568	0.0563	0.0573	4MR2	0.4912	0.0148	0.0151	0.0145
PATRÓN 2	2	0.0587	0.0591	0.0584	PATRÓN 2	2	0.133	0.1333	0.1328	4MR3	1.3187	0.0392	0.0395	0.0389
PATRÓN 3	5	0.1364	0.1359	0.137	PATRÓN 3	5	0.2377	0.2375	0.2379	4MR1.1	0.5661	0.0161	0.016	0.0162
PATRÓN 4	10	0.2443	0.244	0.2446	PATRÓN 4	10	0.1335	0.1328	0.1343	4MR2.1	0.3245	0.0093	0.0093	0.0092

Tabla de calibra curva 3 y 4

**Figura. 21 Curva 3 y 4 datos tabla 23 B-PR-5**

Fuentes propias

Curva 3				
16/02/2018	C ppm	Abs		
CERO CAL	0	0.0003	0.0001	0.0006
PATRÓN 1	1	0.0302	0.03	0.0304
PATRÓN 2	2	0.0587	0.0591	0.0584
PATRÓN 3	5	0.1364	0.1359	0.137
PATRÓN 4	10	0.2443	0.244	0.2446
ST. DE CONTROL	2.0051	0.0587	0.0588	0.0587

Muestra	C ppm	Absorbancias		
1.1	0.2189	0.0066	0.0065	0.0067
1.2	0.1758	0.0053	0.0053	0.0053
1.3	0.168	0.0051	0.0054	0.0048
2.1	0.2412	0.0073	0.0072	0.0074
2.2	0.1372	0.0042	0.004	0.0043
2.3	0.1981	0.006	0.0058	0.0062
3.1	0.0685	0.0021	0.0021	0.0021
3.2	0.1747	0.0053	0.0052	0.0054
3.3	0.0945	0.0029	0.003	0.0028

Figura.22 Curva 3 y lecturas de Tabla25 PR-7

TABLA N° 26 B-PR-6 **BLANCOS**

m	b	Muestra	C ppm	tiempo min	Rot	Φ1 l/min	Φ1 l/min	Φprom	Φv	carga	Vfiola ml	μgPb/m <sup>3</sup>
0.815	0.713	Bk1	0	60	1	2	2	2	2.343	0	10	0
0.938	0.6613	Bk2	0.0101	60	2	1.8	1.8	1.8	2.3497	0	10	0.71640351
0.872	0.4	Bk3	0.0479	60	3	2	2	2	2.144	0	10	3.72356965
0.815	0.713	BkPR1	0.1045	60	1	2	2	2	2.343	0	10	7.43348983
0.938	0.661	BkPR2	0.1537	60	2	1.8	1.8	1.8	2.3494	0	10	10.9034931
0.872	0.4	BkPR3	0.15	60	3	2	2	2	2.144	0	10	11.6604478

Bk1,Bk2, y Bk3 blancos de reactivos y material de vidrio ,rotámetros 1 ;2 ;3

BkPR blancos en laboratorio de minerales realizados sin campana y sin lunas de reloj.

Fuentes propias

**TABLA N°27B-PR-7 Resultados contenido de plomo área ensayos al fuego:Fundición con extractor**

Ensayos al fuego,fundiciónH3 ( usando extractor,24 crisoles, c/u 135 gPbO) 15/02/18 (curva 3)Foto 15													
M	b	Muestra	C ppm	tiempo min	Rot	Φ1 l/min	Φ1 l/min	Φprom	Φv	carga	Vfiola ml	μgPb/m³	LMP 8h
0.815	0.713	1.1	0.2189	60	1	2	2	2	2.343	24Cri.	10	15.5712	75 μgPb/m³
0.938	0.6613	1.2	0.1758	60	2	1.8	1.8	1.8	2.3497	24Cri.	10	12.4697	
0.872	0.4	1.3	0.168	60	3	2	2	2	2.144	24Cri.	10	13.0597	
0.815	0.713	2.1	0.2412	60	1	2	2	2	2.343	24Cri.	10	17.1575	
0.938	0.6613	2.2	0.1372	60	2	2	2	2	2.5373	24Cri.	10	9.0122	
0.872	0.4	2.3	0.1981	60	3	2	2	2	2.144	24Cri.	10	15.3996	
0.815	0.713	3.1	0.0685	60	1	2	2	2	2.343	24Cri.	10	4.87267	Hubo fuga
0.938	0.6613	3.2	0.1747	60	2	2	2	2	2.5373	24Cri.	10	11.4755	
0.872	0.4	3.3	0.0945	60	3	2	2	2	2.144	24Cri.	10	7.34608	Hubo fuga

Muestreo Horno 3(H3) . Rotámetro 3 a la izquierda, rotámetro 2 al centro y rotámetro 1 a la derecha (abertura de puerta) muestreo simultáneo. Observación :Muestreo al lado de la abertura de la puerta da mayor concentración cuando funciona sólo, si hay otro Horno con salida de la puerta en dirección del horno estudiado cambia los valores Velocidad 3 m/s

Algunos blancos laboratorio. corridos en área de Gravimetría medio ambiente **TABLA N° 28 B-PR-8**  
(15/02/18) : **Blancos de plomo en gravimetría**

Muestra	C Pb ppm	Abs	Fiola	flujo	min	c ppm
Bk de F2	0.05	0.00120	10	2	90	2.7778
Bk de F4	0.05	0.00120	10	2	90	2.7778
Bk de F5	0.08	0.00200	10	2	90	4.4444
Bk deF8	0.05	0.00110	10	2	90	2.7778
Bk Lab.1	0.14	0.00340	10	2	90	7.7778
Bk.. Lab 2	0.04	0.00090	10	2	90	2.2222
Bk de F2	0.05	0.00120	10	2	90	2.7778

**TABLA N° 29 B-PR.9 RESULTADOS CONTENIDO PLOMO AREA MINERALES Y MATERIAL VIDRIO LAVADO LABORATORIO B**

Blancos de material de vidrio(BM-i) y muestreo en el laboratorio(Bki) 17/07/18 Curva 5													LMP 8h
m	b	Muestra	C ppm	min	Rot	Φ1 l/min	Φ1 l/min	Φprom	Φv	carga	Vfiola ml	μgPb/m <sup>3</sup>	75 μgPb/m <sup>3</sup>
0.938	0.6613	Bk1	0.178	150	2	1.9	1.9	1.9	2.4435	28 Cri.	10	4.8537	Curva 5
1.137	-0.257	Bk2	0.004	150	4	2	2	2	2.01761	28 Cri.	10	0.1190	Curva 5
0.872	0.4	Bk3	0.061	150	3	1.95	1.95	1.95	2.1004	28 Cri.	10	1.9266	Curva 5
0.938	0.6613	Bk4	0.019	120	2	1.9	1.9	1.9	2.4435	28 Cri.	10	0.6412	Curva 5
1.137	-0.257	Bk5	0.000	120	4	2	2	2	2.01761	28 Cri.	10	0.0000	Curva 5
0.872	0.4	Bk6	0.080	120	3	1.95	1.95	1.95	2.1004	28 Cri.	10	3.1581	Curva 5
		BM-1	-0.005	Evaluación del lavado del material de vidrio								0	Curva 5
		BM-2	-0.026	Evaluación del lavado del material de vidrio								0	Curva 5
		BM-3	-0.028	Evaluación del lavado del material de vidrio								0	Curva 5
		BM-4	-0.026	Evaluación del lavado del material de vidrio								0	Curva 5

Curva 5				
. mg/ml	Abs1	Abs2	Abs3	Abs prom
1	0.0363	0.0366	0.036	0.036
2	0.0703	0.07	0.0706	0.070
4	0.1317	0.1315	0.1319	0.132
10	0.2812	0.2818	0.2806	0.281

Pb	BK	-0.0102
Pb	BM-1	-0.005
Pb	BM-2	-0.0262
Pb	BM-3	-0.0283
Pb	BM-4	-0.0256
Pb	BK-1	0.1779
Pb	BK-2	0.0036
Pb	BK-3	0.0607
Pb	BK-4	0.0188
Pb	BK-5	-0.0183
Pb	BK-6	0.0796

**Figura.23 Curva 5 y resultados de blancos tabla 27 B-PR-9**

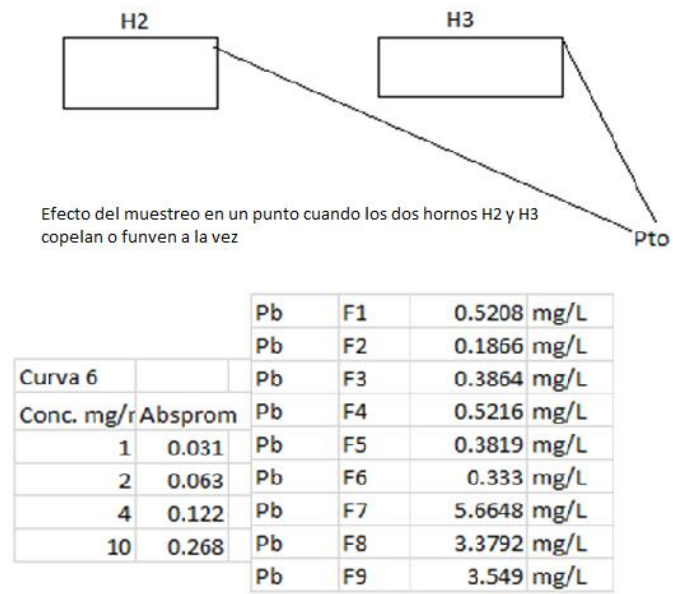
*Fuentes propias*

**TABLA N°30 B-PR-10 RESULTADOS CONTENIDO PLOMO-AREA FUNDICIÓN SIN EXTRACTOR A 10,60,120 cm.**

Distancia cm	Muestreo de fundición H3 sin extractor 18/07/18 curva 6 foto 16 24 Crisoles 135 g PbO													LMP 8h
	m	b	Muestra	C ppm	min	Rot	Φ1 l/min	Φ1 l/min	Φprom	Φv	carga	Vfiola ml	μgPb/m³	75 μgPb/m³
10	0.872	0.4	F1	0.521	75	3	2	2	2	2.144	28 Cri.	10	32.3881	Curva 6
60	1.137	-0.257	F2	0.187	75	4	2	2	2	2.01761	28 Cri.	10	12.3314	Curva 6
120	0.938	0.6613	F3	0.386	75	2	1.95	1.95	1.95	2.4904	28 Cri.	10	20.6874	Curva 6
10	0.872	0.4	F4	0.522	70	3	2	2	2	2.144	28 Cri.	10	34.7548	Curva 6
60	1.137	-0.257	F5	0.382	70	4	2	2	2	2.01761	28 Cri.	10	27.0404	Curva 6
120	0.938	0.6613	F6	0.333	70	2	1.95	1.95	1.95	2.4904	28 Cri.	10	19.1019	Curva 6
10	0.872	0.4	F7	5.665	90	3	2	2	2	2.144	29 Cri.	10	293.5738	Curva 6
60	1.137	-0.257	F8	3.379	90	4	2	2	2	2.01761	30 Cri.	10	186.0946	Curva 6
120	0.938	0.6613	F9	3.549	90	2	1.95	1.95	1.95	2.4904	31 Cri.	10	158.3414	Curva 6

Muestreos F1-F6 se hicieron casi sin interferencia del Horno 2, muestreo F7-F9 se realizó casi simultáneamente con H-2 y todas se midieron al lado de la salida del horno 3, por ello se obtiene valores mas altos

*Fuente propia*



*Figura.24* Efecto del muestreo con dos hornos y curva 6 con resultados tabla 28B-PR-10

*Fuente propia*

**TABLA N° 31 B-PR-11 RESULTADOS DEL CONTENIDO DE PLOMO FUNDICIÓN SIN EXTRACTOR 10,100,200 CM**

Ensayos al fuego (fundición , 28 crisoles, c/u 135 gPbO)no usan extractor) 19/07/18 curva 7 al lado derecho (abertura) foto 16y 18														LMP 8h
Distancia	m	b	Muestra	C ppm	min	Rot	Φ1 l/min	Φ1 l/min	Φprom	Φv	carga	Vfiola ml	μgPb/m³	75 μgPb/m³
10 cm	0.872	0.4	F10-H3*	0.365	70	3	2	2	2	2.144	28 Cri.	10	24.3070	Curva 7
100 cm	1.137	-0.257	F11-H3*	0.653	70	4	2	2	2	2.01761	28 Cri.	10	46.2074	Curva 7
200 cm	0.938	0.6613	F12-H3*	0.449	70	2	1.95	1.95	1.95	2.4904	28 Cri.	10	25.7560	Curva 7
10 cm	0.872	0.4	F13-H3**	3.707	70	3	2	2	2	2.144	28 Cri.	10	247.0083	Curva 7
100 cm	1.137	-0.257	F14-H3**	3.656	70	4	2	2	2	2.01761	28 Cri.	10	258.8845	Curva 7
200 cm	0.938	0.6613	F15-H3**	6.439	70	2	1.95	1.95	1.95	2.4904	28 Cri.	10	369.3784	Curva 7

Fundición F13 a F15 en el horno H13 se realizó con el horno 2 (H2) fundiendo a la vez, y fundición F10 a F12 se realizó sin estar fundiendo el horno H2

Curva 7	C ppm	unidad	Abs prom	Mtra.	ppm	Absorbancias				Prom
CERO CAL	0	mg/L	0.0004	F10-H3	0.36	0.014	0.014	0.014	0.0137	0.0138
PATRÓN 1	1	mg/L	0.0379	F11-H3	0.65	0.024	0.025	0.024	0.0245	0.0244
PATRÓN 2	2	mg/L	0.071	F12-H3	0.45	0.017	0.017	0.017	0.0173	0.0170
PATRÓN 3	4	mg/L	0.1287	F13-H3	3.71	0.122	0.123	0.123	0.1219	0.1224
PATRÓN 4	10	mg/L	0.2709	F14-H3	3.66	0.121	0.12	0.121	0.1216	0.1210
				F15-H3	6.44	0.193	0.192	0.194	0.1937	0.1933

**Figura. 25 Datos de curva y resultado tabla B-PR-11**

Fuente propia

**TABLA N° 32 B-PR.12 RESULTADOS CONTENIDO PLOMO FUNDICIÓN Y COPELACION 10,100, Y 200 cm**

Ensayos al fuego (fundición , 28 crisoles, c/u 135 gPbO)no usan extractor) 20/07/18 curva 8 al lado derecho (abertura) foto 17y18														LMP 8h
Distancia	m	b	Muestra	C ppm	min	Rot	Φ1 l/min	Φ1 l/min	Φprom	Φv	carga	Vfiola ml	μgPb/m³	75 μgPb/m³
10 cm	0.872	0.4	C1-H3	1.6361	70	3	2	2	2	2.144	88 bot.	10	109.0152	Curva 8
100 cm	1.1374	-0.2572	C2-H3	1.1402	70	4	2	2	2	2.01761	88 bot.	10	80.7319	Curva 8
200 cm	0.938	0.6613	C3-H3	1.3231	70	2	1.95	1.95	1.95	2.4904	88 bot.	10	75.8972	Curva 8
10 cm	0.872	0.4	C4-H3	0.1658	70	3	2	2	2	2.144	50 bot.	10	11.0474	Curva 8
100 cm	1.1374	-0.2572	C5-H3	0.5249	70	4	2	2	2	2.01761	88 bot.	10	37.1656	Curva 8.
200 cm	0.938	0.6613	C6-H3	0.6212	70	2	1.95	1.95	1.95	2.4904	88 bot.	10	35.6340	Curva 8
10 cm	0.872	0.4	F16-H3	1.3558	70	3	2	2	2	2.144	28 Cri.	10	90.3385	Curva 8
100 cm	1.1374	-0.2572	F17-H3	1.98	70	4	2	2	2	2.01761	28 Cri.	10	140.1940	Curva 8
200 cm	0.938	0.6613	F18-H3	1.8483	70	2	1.95	1.95	1.95	2.4904	28 Cri.	10	106.0243	Curva 8
4 M	0.938	0.6613	F19-H3	0.261	75	2	2	2	2	2.5373	28 Cri.	10	13.7154	Curva 9
4 M	0.938	0.661	F20-H3	0.4032	70	2	2333	2	2	2.537	28 Cri.	10	22.7040	Curva 9
4 M	0.938	0.6613	F21-H3	0.7114	60	2	1.95	1.95	1.95	2.4904	28 Cri.	10	47.6095	Curva 9
4 M	1.1374	-0.2572	F22-H2	0.9616	80	4	2	2	2	2.017612	29 Cri.	10	59.5754	Curva 9
4 M	1.1374	-0.2572	F23-H2	0.2039	60	4	2	2	2	2.017612	30 Cri.	10	16.8433	Curva 9
4 M	1.1374	-0.2572	F24-H2	1.2652	60	4	2	2	2	2.017612	31 Cri.	10	104.5130	Curva 9
4M	1.1374	-0.2572	C7-H3	2.8936	60	4	2	2	2	2.017612	88 bot.	10	239.0284	Contaminación*
4M	1.1374	-0.2572	C8-H2	1.0103	60	4	2	2	2	2.017612	88 bot.	10	83.4567	Curva 9

Fundición sin extractor C=copelación con extractor 80 Botones Velocidad del extractor vertical 3.8-4.1 m/s \*Se estuvo barriendo

Monitoreado en horno H3

Velocidad del extractor horizontal en salida del horno 2.8-3.0m/s

Observación : Copelación C1 a C3 y C7 y C8 se copeló con H2 copelando y Fundición F16-F18 con H2 fundiendo

Copelación C4 a C6 no estan copelando en horno H3..Copelación 50 y 88 botones

*Fuente propia*



Curva 8	C ppm	unidad	Abs prom
CERO CAL	0	mg/L	0.0006
PATRÓN 1	1	mg/L	0.0168
PATRÓN 2	2	mg/L	0.0344
PATRÓN 3	4	mg/L	0.0704
PATRÓN 4	10	mg/L	0.1697
Curva 9	C ppm	unidad	Abs prom
CERO CAL	0	mg/L	-0.0005
PATRÓN 1	1	mg/L	0.0200
PATRÓN 2	2	mg/L	0.0392
PATRÓN 3	4	mg/L	0.0762
PATRÓN 4	10	mg/L	0.1866

Mtra.	ppm	Absorbancias			Prom
C1-H3	1.64	0.0280	0.0284	0.0276	0.0280
C2-H3	1.14	0.0194	0.0195	0.0193	0.0194
C3-H3	1.32	0.0225	0.0224	0.0227	0.0225
C4	0.17	0.0028	0.0028	0.0027	0.0028
C5	0.52	0.0088	0.0086	0.0091	0.0088
C6	0.62	0.0105	0.0107	0.0102	0.0105
F16	1.36	0.0231	0.0227	0.0236	0.0231
F17	1.98	0.0341	0.0347	0.0334	0.0341
F18	1.85	0.0317	0.0316	0.0319	0.0317
C7	2.89	0.056	0.056	0.056	0.0560
C8	1.01	0.02	0.02	0.02	0.0200
F19	0.26	0.005	0.005	0.005	0.0052
F20	0.4	0.008	0.008	0.008	0.0081
F21	0.71	0.014	0.014	0.014	0.0142
F22	0.96	0.019	0.019	0.02	0.0191
F23	0.2	0.004	0.004	0.004	0.0041
F24	1.27	0.025	0.025	0.025	0.0250

Figura.26 Curvas 8 y 9 ;Resultados Tabla B-PR-12  
Fuente propia

TABLA N° 33 B-PR-13 **RESULTADOS DEL CONTENIDO DE PLOMO SALA PREPARACIÓN DE MUESTRAS Y BLANCOS**

Ensayos preparación de muestras													LMP 8h
m	b	Muestra	C ppm	min	Rot	Φ1 l/min	Φ1 l/min	Φprom	Φv	Muestras	Vfiola ml	μgPb/m³	75 μgPb/m³
0.938	0.6613	P1	2.357	60	4	2	2	2	2.5373	25	10	154.8234	Curva9
0.815	0.713	P2	2.274	60	4	2	2	2	2.343	30	10	161.7584	Curva9
		Bk1	0										
		Bk2	0										
		Bk3	0										

Ver curva de calibración en sgte. página. Se muestrea solo el tiempo de molienda (1 hora)

*Fuente propia*

Muestra ID	Concentración mg/L	%RSD	SD	Abs media
CERO CAL	0.000	>100	0.0013	-0.0001
PATRÓN 1	2.000	1.5	0.0010	0.0640

Informe de SpectrAA.		08:23 a.m. 27/07/2018		
PATRÓN 2	5.000	1.2	0.0018	0.1486
PATRÓN 3	10.000	0.7	0.0020	0.2666
Ajuste de curva	= Racional Nuevo			
Conc.característica	= 0.137 mg/L			
r	= 1.0000			
Concentración calculada	= -0.004 2.027 4.948 10.027			
Residuales	= 0.004 -0.027 0.052 -0.027			
Conc = A				
-----				
(-0.05643 x A x A - 0.00588 x A + 0.03216)				
BK	0.004	>100	0.0016	0.0001
STD	2.029	0.7	0.0005	0.0640
ELANCO 1	0.006	>100	0.0005	0.0002
ELANCO 2	-0.010	>100	0.0009	-0.0003
ELANCO 3	0.003	>100	0.0011	0.0001
P1	2.357	0.8	0.0006	0.0741
P2	2.274	1.3	0.0009	0.0715
STD	2.017	0.7	0.0005	0.0636

Figura.27 Curva calibración tabla 31 B-PR resultados de la misma  
Fuente propia

TABLA N° 34 B-PR-14 RESULTADOS DEL CONTENIDO DE PLOMO PISO LABORATORIO FUNDICION Y COPELACION

Piso de sala de fundición y copelación							
Muestra	Lugar	Peso g	1ra Dil	2da dil	C <sub>Lec</sub> ppm	ug/g	%
Piso	Izquierda	0.4	25.000	1 /50	36.952	115475	11.548
Piso	medio	0.4	25.000	2 /50	23.231	72596.88	7.2597
Piso	Derecha	0.4	25.000	3 /50	36.641	114503.1	11.45

Muestra ID	Concentración mg/L	%RSD	SD	Abs media
CERO CAL	0.000	51.7	0.0002	0.0004
PATRÓN 1	10.000	2.4	0.0022	0.0927
<b>Informe de SpectrAA. 11:16 a.m. 27/07/2018</b>				
PATRÓN 2	20.000	0.9	0.0017	0.1810
PATRÓN 3	50.000	0.3	0.0013	0.4008
Ajuste de curva = Racional Nuevo				
Conc. característica = 0.474 mg/L				
r = 1.0000				
Concentración calculada = 0.045 10.027 19.960 50.015				
Residuales = -0.045 -0.027 0.040 -0.015				
Conc = A				
(-0.00906 x A x A + 0.03047 x A + 0.00928)				
BK	-0.011	>100	0.0011	-0.0001
STD	19.948	0.5	0.0009	0.1809
IZQUIERDA 1/50	36.952	0.5	0.0016	0.3152
MEDIO 1/50	23.231	0.4	0.0008	0.2087
DERECHA 1/50	36.641	0.4	0.0012	0.3129
STD	19.953	0.4	0.0008	0.1810

Figura.28 Curva y resultados de tabla 32 B-PR-14  
Fuente propia



## CAPITULO 6 : IMPACTO

### 6.1 Propuesta para la solución del problema

Según Hall (referencia 9) un extractor con velocidad de 6 m/s es lo recomendable para no superar las emisiones de plomo de los valores del LMP, para un horno; no sabemos si sirva para mas de un horno.

Por ello mi recomendación es :

1. Usar a 1 m de la puerta del horno un “Escudo” de acrílico transparente para atrapar el gas de plomo emitido, de forma tal que su influencia llegue de la parte superior de la salida de la puerta.obviamente usando extractor con velocidad de 4-6 m/s

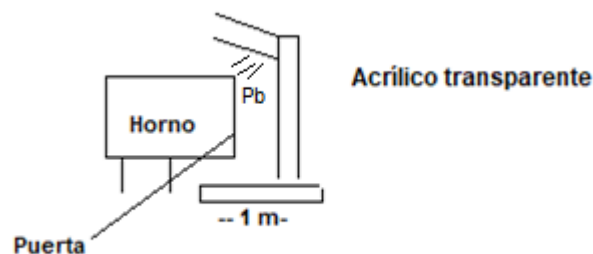


Figura.29 **Escudo protector contra emisiones de plomo para el trabajador**

*Fuente propia*

Se usa transparente para verificar el proceso de fundición o copelación.

- 2.Limpieza de dicho “Escudo” y del piso del área de fundición y copelación, mediante una aspiradora adecuada.

- 3.Al momento de retirar los crisoles o copelas usar “Respiradores” para plomo con eficiencia de retención verificada de fábrica para trabajadores de dicha fisonomía. (normalmente el tiempo de retiro de crisoles o copelas es entre 2-5 minutos).

## **6.2 Costo de implementación de la propuesta**

Escudo protector transparente de policlocarbonato cuatro placas  
de 2.9 m x 1.5 m 520 soles

Mano de obra 300 soles(lo puede hacer la empres misma)

Aspiradora con filtro Hepa 389 soles

Juego de 12 ruedas deslizantes 70 soles

Costo aproximado : 1300 soles.

## **6.3 Benefico que aporta la propuesta**

El principal benefició de la propuesta es la eliminación al mínimo la contaminación por plomo en el área de Ensayos al fuego:

- Menor respiración de vapor de plomo.

- Menor probabilidad de llevar plomo por parte de los trabajadores a sus Casas

## 7.CONCLUSIONES

1.En los laboratorios de análisis de minerales el área de mayor contaminación por plomo es el área de Ensayos al fuego,seguido del área de preparación de muestras de minerales.

La cantidad de plomo vapor emitido varía según el área de trabajo en tabla N°35.

**TABLA N° 35 COMPARATIVA CONTENIDO DE PLOMO OCUPACIONAL EN DIFERENTES AREAS DE TRABAJO**

Laboratorio	Area laboratorio	Proceso	$\mu\text{gPb}/\text{m}^3$	Hornos	Observación
A	Ensayos al fuego	Copelación	690-3897	1 horno	Sin extractor-14 copelas(25g Pb)-a la salida del Horno.60 min.
A	Ensayos al fuego	Fundición	21-131	1 horno	Sin extractor-8 crisolesas(20g PbO)-a la salida del Horno.60 min
A	Lab. Minerales	Ataque muestras	0.31-2.49	1 horno	Hay campana en plancha ataques. 1-3 m de la plancha
X	Ensayos al fuego	ninguno	Hasta 127,000		Piso .Puntos localizados entre 2-4 m del horno.
X	Lab.minerales	Ataque muestras	2-18	1 horno	Area sin techo protector contra el polvo circundante.
X	Ensayos al fuego	Fundición	23-44	1 horno	Sin extractor.40 crisoles(180 gPbO). 2.7 m-salida.Puerta vertical.60min.
X	Ensayos al fuego	Copelación	7.4-19.09	1 horno	Ext. 2m/s.40 copelas(35 gPb). 2.7 m-salida.Puerta vertical.60min.
B	Ensayos al fuego	Copelación	17-47	1 horno	84 copelas (30 g Pb) .Ext, 4 m/s a la salida del horno. 1 Horno solo
B	Ensayos al fuego	Fundición	5-17	1 horno	28 crisoles (150 g PbO).Ext. 4 m/s a la salida del horno. 1 Horno solo
B	Ensayos al fuego	Ninguno	7000-110000		Piso .Puntos localizados entre 10-100 cm del horno.
B	Muestreria	Pulverizado	1108-1116	1 horno	36 muestras 45 minutos.

Se observa también que el contenido de plomo depende de la velocidad del extractor como se ha resumido en la tabla N°36

**TABLA N°36 COMPARATIVA CONTENIDO DE PLOMO OCUPACIONAL PROCESO DE COPELACION  
SIN EXTRACTOR vs CON EXTRACTOR. UN SOLO HORNO.MUESTREO A LA SALIDA DEL HORNO**

Laboratorio	Extractor m/s	$\mu\text{gPb}/\text{m}^3$	Observación
A	0 sin Ext.	690-3200	Sin extractor-14 copelas(25g Pb)-a la salida del Horno.60 min.solo hay 1 horno TABLA 16 A1
X	2 Ext.	7.4-19	40 copelas(35 gPb).mustreo a la salida.Puerta vertical.60min. 1 solo horno.Horno vertical TABLA 20X3
B	4 Ext.	11-37	84 copelas (30 g Pb) . a la salida del horno. 1 Horno solo-TABLA 24 B-PR4 Y 32 B-PR32



2. Cuando se realizan ensayos al fuego usando un solo horno sin sistema de extracción, la copelación emite valores mayores a los  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y la fundición, dependiendo del lugar el muestreo, si este está cerca de la salida por el lado de la abertura supera los  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  valor del LMP aceptado.
3. En los laboratorios que se realiza limpieza del suelo de la sala de ensayos al fuego sin aspiradora, se encuentran puntos localizados en el piso de contenido de plomo desde 7% hasta 17 %. Ver tabla 35
4. En el proceso de fundición de 28 crisoles con plomo, cuando los dos hornos están funcionando se supera el valor establecido de  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  del LMP del horno 3, hasta casi  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , cual es influenciado en forma directa por el horno 2 (salida de los gases de Plomo del horno 2, hacia el horno 3). Efecto del muestreo con más de un horno se resume en la tabla N°37
5. En el proceso de copelación con extractor de velocidad de extracción de 4 m/s se observa comportamiento similar: Hornos solos, no superan el valor del LMP y con dos hornos funcionando el horno 3 da valores hasta  $239 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y el horno 2 hasta  $83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ver tabla N°37

TABLA 37 COMPARATIVA CONTENIDO DE PLOMO OCUPACIONAL PROCESO DE FUNDICION SIN EXTRACTOR vs CON EXTRACTOR. UN SOLO HORNO.MUESTREO A LA SALIDA DEL HORNO			
Laboratorio	Extractor m/s	$\mu\text{gPb}/\text{m}^3$	Observación
A	0 sin Ext.	18-22	8 crisolesas(20g PbO)-a la salida del Horno.60 min. 1 solo horno.r TABLA 16A1
X	0 sin Ext.	22-24	40 crisoles(180 gPbO). A 2.7 m-.Puerta vertical.60min.1 solo horno TABLA 20X3
X	0 sin Ext.	38 - 44	40 crisoles(180 gPbO). A la salida.Puerta vertical.60min.1 solo horno TABLA 20 X3
B	0 sin Ext.	21-60	28 crisoles (150 g PbO).Ext. 4 m/s a la salida del horno. 1 Horno solo horno H3 TABLA 23 PR-23
B	4 Ext.	7-13	28 crisoles (150 g PbO).Ext. 4 m/s a la salida del horno. 1 Horno solo horno H3 TABLA 27 PR-27

TABLA N°38A COMPARATIVA CONTENIDO DE PLOMO OCUPACIONAL PROCESO DE COPELACION SIN EXTRACTOR vs CON EXTRACTOR. UN SOLO HORNO.MUESTREO A LA SALIDA DEL HORNO			
Laboratorio	Extractor m/s	$\mu\text{gPb}/\text{m}^3$	Observación
A	0 sin Ext.	690-3200	Sin extractor-14 copelas(25g Pb)-a la salida del Horno.60 min.solo hay 1 horno TABLA 16 A1
X	2 Ext.	7.4-19	40 copelas(35 gPb).mustreo a la salida.Puerta vertical.60min. 1 solo horno.Horno vertical TABLA 20X3
B	4 Ext.	11-37	84 copelas (30 g Pb) . a la salida del horno. 1 Horno solo-TABLA 24 B-PR4 Y 32 B-PR32
Nota Todos los laboratorios usan extractotr en proceso de copelación			

Condición sub estándar ; 1 horno operando; uso extractot;no uso de extractor

*Fuente propia*

TABLA N°38B COMPARATIVA CONTENIDO DE PLOMO OCUPACIONAL PROCESO DE COPELACION -FUNDICION					
CON-SIN EXTRACTOR. UN SOLO HORNO vs. 2HORNOS.MUESTREO A LA SALIDA DEL HORNO					
Laboratorio	Extractor m/s	$\mu\text{gPb}/\text{m}^3$	N° Hornos	Proceso	Observación
B	0 sin Ext.	21-34	1	Fundición	24 crisoles 135 g PbO Horno3 TABLA 23 B-PR3 y 30 B-PR-10
B	0 sin Ext.	60	1	Fundición	30 crisoles 135 g PbO Horno 3 TABLA 23 B-PR3
B	0 sin Ext.	162-293	2	Fundición	24 crisoles 135 g PbO Horno3 TABLA 23 B-PR3 y 30 B-PR-10
B	4 Ext.	10-28	1	Copelación	50 botones 30 g c/u Tabla B-PR-24 y Horno 3
B	4 Ext.	30-32	1	Copelación	80 botones 30 g c/u y Horno 3 TABLA 24 B-PR.4
B	5 Ext.	35-37	1	Copelación	88 botones 30 g c/u y Horno 3 TABLA 32 B-PR.12
B	4 Ext.	75-239	2	Copelación	88 botones 30 g c/u y Horno 3 TABLA 32 B-PR.12

**Condicion sub etsndar:hornos trabajando**  
**Fuente propia**

## 8.RECOMENDACIONES

- 1.Se recomienda usar el extractor cuando se realicen los ensayos de fundición, evaluando el contenido de plomo emitido en la salida de cada horno, y a distancias de 1 – 4 m cuando estén operando más de un horno para, verificar si la velocidad de extracción es la adecuada para emitir contenidos de plomo menores a  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , de no ser así probar con un flujo mínimo de velocidad de 6 m/s según se recomienda en la Bibliografía ya citada.
2. Verificar que la velocidad recomendada de 6 m/s del extractor en la copelación con unos o más hornos operando al muestrear como se sugiere en la anterior recomendación ,el contenido de plomo no supere al valor del LMP anterior.
- 3.Al momento de retirar las copelas del horno en la copelación y los botones en la copelación se recomienda usar respiradores de protección respiratoria con certificación de que tienen el ajuste facial adecuado para los trabajadores de dicha área geográfica,y que cumpla si es posible con los factores de ajuste y de protección recomendados por la OSHA.
4. Al realizar la limpieza del área de ensayos al fuego ,se recomienda usar aspiradora en vez de barrer, para minimizar el contenido de plomo en el suelo, especialmente en puntos localizados de acumulación de plomo, monitoreando con alguna frecuencia determinada el contenido plomo en el suelo.
- 5.Con respecto al material de vidrio usado para la determinación del contenido de plomo ,establecer un protocolo de lavado adecuado de forma tal que los blancos den valores de cero contenido de plomo

## 9.BIBLIOGRAFIA

1. Acaro F. Ccahuana M.,CahuanaT. (2014) *“Intoxicación ocupacional por plomo en diversos grupos de Trabajadores del cercado de Ica”* Revista Agora científica ;01(01):20-25

**Users/pc-to/Downloads/12-48-3-PB.pdf**

2. Agrícola Georgius, “De Re Metallica” (1556)

[De re metallica - National Coal Mining Museum for England](#)

<file:///C:/Users/pc-to/Downloads/deremetallica50agri.pdf>

3. Aguilar G, Piacitelli G., Grameix J ,Juárez C. Vásquez H.,Hernández M. (1999),” *Exposición ocupacional a plomo inorgánico en una imprenta de la Ciudad de México”* , M. Salud Publica ;41,:42-54.,México

**[www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource\\_ssm\\_path=/media/assets/spm/v41n1/41n1a05.pdf](http://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/spm/v41n1/41n1a05.pdf)**

4. Argueta E.(2014), *“Estudio sobre la verificación de condiciones ambientales seguras en el manejo de concentraciones altas de plomo en pruebas de ensayo al fuego para la determinación de oro y plata”* tesis de grado de Ingeniero químico Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Química, Guatemala

[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1412\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1412_Q.pdf).

5. Coffey C., Lawrence R., Campbell D., Zhuang Z., Calvert C.,and Jensen P.(2004) *“Characteristics of Eighteen N95 Filtering-Facepiece”* J .Occup. Environ.Hyg.Apr 1 (4) 262-271 Recuperado de:

DOI:[10.1080/15459620490433799](https://doi.org/10.1080/15459620490433799)

6. Chamba J.C,(2015) *“Determinación de plomo sérico y su influencia de desarrollo de saturnismo en los trabajadores del centro de servicio Alonso Gavilanes & hijos Cia. Ltda. de la ciudad de Ambato”*

Requisito para obtener el grado de Licenciado en laboratorio Clínico, Universidad técnica de Ambato facultad de ciencias de la salud. Ecuador.

<http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/9974/1/Chamba%20Tub%C3%B3n%2C%20Juan%20Carlos.pdf>

7 Daniels Williams Hales Thomas,; Lee Steve ; Gunter Bobby, and GoldField Joe  
Trabajo de investigación “*Exposición por plomo en laboratorios de ensayos al fuego para oro*” .APPL.OCCUP.ENVIRO.HYG.6(4) APRIL 1961

<http://dx.doi.org/10.1080/1047322X.1991.10387872>

8. Decanini G.,Arrieta N.,León de Castro D.(1991) "**Exposición laboral al plomo relación entre tiempo y tipo de exposición con niveles sanguíneos**" tesis para obtener Maestría faculta de salud pública especialidad en salud en el trabajo., Universidad autónoma de Nuevo León, México

<http://eprints.uanl.mx/6896/1/1080128572.pdf>

9. Hall, Ronald M. Engineering “*Control in Mine Assay Laboratories*”  
APPL.OCCUP.ENVIRO.HYG. 13(9) SEPTEMBER 1998

<https://doi.org/10.1080/1047322X.1998.10390133>

10. López Vilca. Edith Trabajo de investigación Intoxicación por plomo en trabajadores de metalmecánica Región Puno (Perú)

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1025-55832008000200007](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-55832008000200007).

<https://www.monografias.com/trabajos94/intoxicacion-plomo-trabajadores-metalmecanica-region-puno-peru/intoxicacion-plomo-trabajadores-metalmecanica-region-puno-peru.shtml>

11. Mérida M.(2013) “ *EVALUACIÓN DEL PLOMO PRESENT EN CADA ETAPA DEL PROCESO DE LA DETERMINACIÓN ANALÍTICA DE ORO Y PLATA EN UN LABORATORIO METALÚRGICO*” ,Tesis de grado para Ingeniero Químico, Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Química ,Guatemala.

[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1377\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1377_Q.pdf)

12 NTP 110 (1984) “*Toma de muestras de metales (polvos y humos*”  
*Instituto nacional de Higiene y salud en el trabajo*”

NTP 110: Toma de muestras de metales (polvos y humos)

[https://www.insst.es/InsstWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTécnicas/NTP/Ficheros/101a200/ntp\\_110.pdf](https://www.insst.es/InsstWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTécnicas/NTP/Ficheros/101a200/ntp_110.pdf)

13. Oficina de jefes inspectores de minas British Columbia(Office of the chief inspector mines) “*Guía para reducir plomo inorgánico en laboratorios de ensayos al fuego,( A*

*Guideline to Reducing Inorganic Lead Exposure in Fire Assay Laboratories*.”)) (first edition )“

[https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/mineral-exploration-mining/documents/health-and-safety/lead\\_exposure\\_fire\\_assay\\_labs2016.pdf](https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/mineral-exploration-mining/documents/health-and-safety/lead_exposure_fire_assay_labs2016.pdf)

14 . Porter K., Cassandra K., Fearey D., . Castrodale L., Verbrugge D., , and McLaughlin J.(2015) “*Niveles elevados de plomo en sangre entre los trabajadores de ensayos de al fuego y sus niños en Alaska, 2010-2011*” Public Health Rep. Sep-Oct; 130(5): 440–446. Recuperado en

DOI: [10.1177/003335491513000506](https://doi.org/10.1177/003335491513000506)

15. Rabito F., Perry S, Salinas O, Hembling J, Schmidt N, Parsons P, Kissinger P.(2011)” *Caso de Una los niveles evaluación longitudinal de la ocupación, los síntomas respiratorios y de plomo en sangre entre jornaleros latinos en un entorno no agrícola*” , Am J Ind. Med. 54(5):366-74..

Recuperado en DOI: 10.1080/1047322X.1”991.10387872

16 Ramírez A. (2008) “*Exposición a plomo en trabajadores de fábricas informales de baterías*” , An. Fac med. 69 (2):104-7

<http://www.scielo.org.pe/pdf/afm/v69n2/a07v69n2.pdf>

17 Spies A., Wilson K. Ferrie R.(2011)”*Respirator fit of medium mask on group of South Africans*” Enviromental Health 10 (17) recuperado de DOI [10.1186/1476-069X-10-17](https://doi.org/10.1186/1476-069X-10-17)

18 Trasobares E.(2010) “*Plomo y mercurio en sangre en una población laboral hospitalaria y su relación con factores de exposición*” tesis para optar grado de Doctor, Universidad complutense de Madrid facultad de farmacia Departamento de Farmacología, Madrid

<https://eprints.ucm.es/11027/1/T32163.pdf>

19. Whelan E., Piacitelli G, Gerwel B, Schnorr T., Mueller C., Gittleman J, Matte T. (1997) “*Niveles elevados de plomo en la sangre en niños de los trabajadores de la construcción*” Am. J. Public Health. Aug;87(8):1352-5.

DOI:[10.2105/ajph.87.8.1352](https://doi.org/10.2105/ajph.87.8.1352)

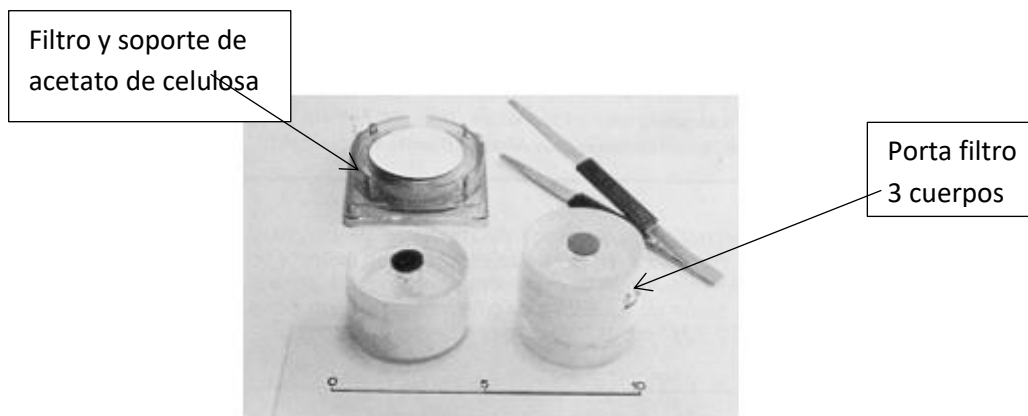
## ANEXO 1 MATERIALES Y EQUIPOS



## Muestreo

Adaptación de la norma Norma NTP 110

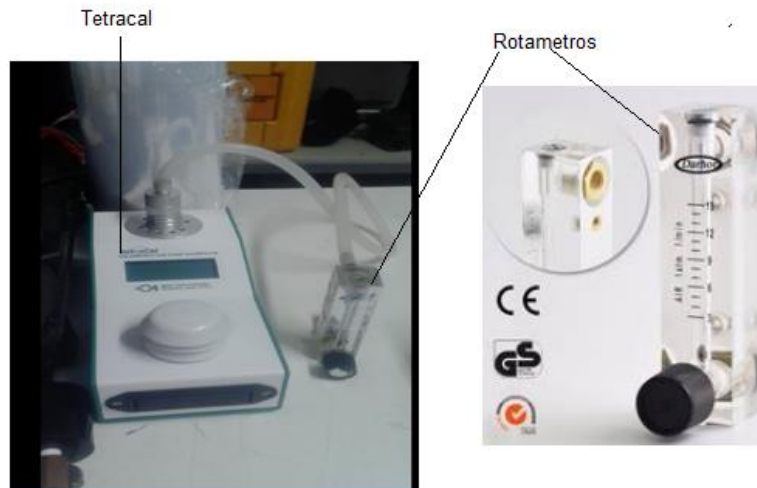
- 3 Soportes universales
- 3 Rotámetros de aire 1-5 LPM Cole Parmer con o sin llave de control
- Dos bombas de pescera de 2 ó 4 LPM
- Una caja de filtros de acetato de celulosa de 100 filtros
- Estante de dos cuerpos de metal
- Pinzas con nuez
- Mangueras latex o silicona diámetro interno 0.5 cm (se usa para el vacío y para unir el portafiltro con el rotámetro)
- Cinta teflón o gutapercha para ajustar uniones de mangueras de muestreo.



*Figura.Nº30* **Soporte de filtro para muestreo Pb ocupacional**

*Fuente propia*

- Calibrador secundario con certificado de calibración (BGI Instruments 890Tetracal) para hallar curva de calibración de la lectura experimental del rotámetro versus lectura del calibrador.



**Figura.N°31 Rotámetro y su calibrador secundario tetracal**  
Fuente propia

**Certificado de Calibración**  
LF - 0392017

1. Cliente: J RAMÓN DEL PERU S.A.C.  
2. Dirección: Av. Los Escaleros 371, Lt 38/39 Sta. Olaya, Lurin  
3. Datos del Instrumento:  
Instrumento de medición: Medidor de flujo digital  
Marca: BGI Instruments  
Modelo: Tetracal  
Código interno: MONIT-215  
Rango de Trabajo: 0.100 L/min a 30.00 L/min  
Serie: 830  
Resolución: 0.001 L/min - 0.01 L/min  
4. Lugar de Calibración: Laboratorio de flujo de aire - Green Group P.E S.A.C.  
5. Fecha de Calibración: 2017-02-14  
6. Condiciones Ambientales:

	Temperatura (°C)	Humedad relativa (% H.R.)	Presión atmosférica (mbar)
Inicial	25.8	58.3	991.9
Final	25.5	58.4	991.8

7. Trazabilidad:

Patrón	Código interno	N° Lot/Certificado	F. Vencimiento
Patrón primario de flujo de rango 300	GGP-88	130288	2017-11-22
Termómetro	GGP-02	T-1613-2016	2017-06-22
Barómetro	GGP-09	CP-0188-2015	2017-06-23

8. Método de Calibración:  
La calibración se realizó por comparación del instrumento con patrones trazables según "PCO-005 Procedimiento para la Calibración de Medidores de Flujo - Green Group"

9. Resultado de Medición:

Patrón (L/min)	Instrumento (L/min)	Corrección (L/min)	Incertidumbre (L/min)
1.000	1.005	-0.002	0.003
3.000	2.98	0.045	0.010
7.000	7.49	0.097	0.021
16.000	16.68	0.348	0.046
30.000	22.88	0.300	0.061

Verificación	T (°C)	Patrón	Instrumento	Corrección
Pres (mmHg)	756.1	746.1	746.5	-0.4

10. Observaciones:  
1) La precisión de flujo del instrumento es de  $\pm 1\%$  de lectura.  
2) Para una correcta medición, tener en cuenta la conexión concentrada en cada punto.  
3) Se utilizaron los tres Venturi: 890/1, 890/2, 890/3.  
La incertidumbre de medición reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura  $k=2$  de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%.  
Los resultados emitidos son válidos solo para el instrumento en el momento de la calibración.  
Se recomienda al usuario revisar e intervalos recomendados, los cuales tienen en cuenta los datos de las características del instrumento.  
La incertidumbre declarada en el presente certificado ha sido estimada siguiendo las directrices de "Guía para la expresión de la incertidumbre de medida" primera edición, septiembre 2008 CEM.  
El certificado de calibración solo puede ser duplicado completamente y sin modificaciones, sin firma y sellos: carecerá de validez.

Fecha de Emisión: 2017-02-15  
Jefe de Laboratorio de Calibración: [Firma]  
Firma: [Firma]  
Av. Avellaneda 4210 - Surquillo  
Central: 550-8174 / 77753700  
FD-IC-PK-01-09  
www.greengroup.pe

**Figura N°.32 Certificado de calibración del calibrador tetracal**  
Fuente propia

Para el ataque de las muestras

- Plancha eléctrica temperatura 80-120°C
- 12 vasos de 50 ml
- 12 fiolas de 10 ml
- Dispensador de  $\text{HNO}_3$

Para lectura de las muestras

- Espectrofotómetro de absorción atómica con lámpara de cátodo hueco de plomo.
- 4 fiolas de 100 ml
- Estándar de Plomo de 1000 ppm.
- Fiolas de 10 ml
- Pipetas de 1-10 ml

## ANEXO 2 PROCEDIMIENTO OPERACIONAL

### a) Calibración de los Rotámetros

Denotaremos a los Rotámetros con Rot 1; Rot 2; Rot 3; Rot 4

Se coloca la bomba de vacío tipo pescera (por absorción) conectada por la parte superior del rotámetro con una manguera (que está fijo en forma vertical) a lecturas 2 LPM girando la llave de la bomba o del rotámetro. Luego desconectar la manguera del rotámetro y colocarlo en el calibrador tetracal leyendo la lectura del calibrador. Repetir este proceso 5 veces.

Repetir el proceso con lecturas 3 LPM y 3.5 ó 4 LPM.

Nota 1 Usar en el calibrador BGI Tetracal el Venturi de 1.2-6 LPM

Nota 2 LPM significa litros por minuto (l/min)

Experimentalmente:

**Tabla N°39 Curva Calibración Rotámetro 1**

Rot1 l/min	Tetracal $L_v$ l/min					Promedio	$L_v$
2	2.35	2.32	2.33	2.32	2.33	2.330	2.343
3	3.150	3.180	3.210	3.200	3.180	3.184	3.158
4	3.970	3.950	3.970	3.960	3.950	3.960	3.973

Donde  $m$  = Pendiente de la recta de calibración  $m = 0.815$   $b = 0.713$

$b$  = intersección con el origen

$L_{Rot}$  = flujo del rotámetro experimental

$L_v$  = flujo verdadero según curva de calibración :  $L_v = m \times L_{Rot} + b$

**Tabla N°40 Curva Calibración Rotámetro 2**

Rot2 l/min	Tetracal $L_v$ l/min					Promedio	$L_v$
2	2.56	2.57	2.56	2.52	2.55	2.552	2.537
3	3.450	3.440	3.450	3.440	3.450	3.446	3.475
4	4.400	4.410	4.450	4.460	4.420	4.428	4.413

$m = 0.938$   $b = 0.661$

**Tabla N° 41 Curva Calibración Rotámetro 3**

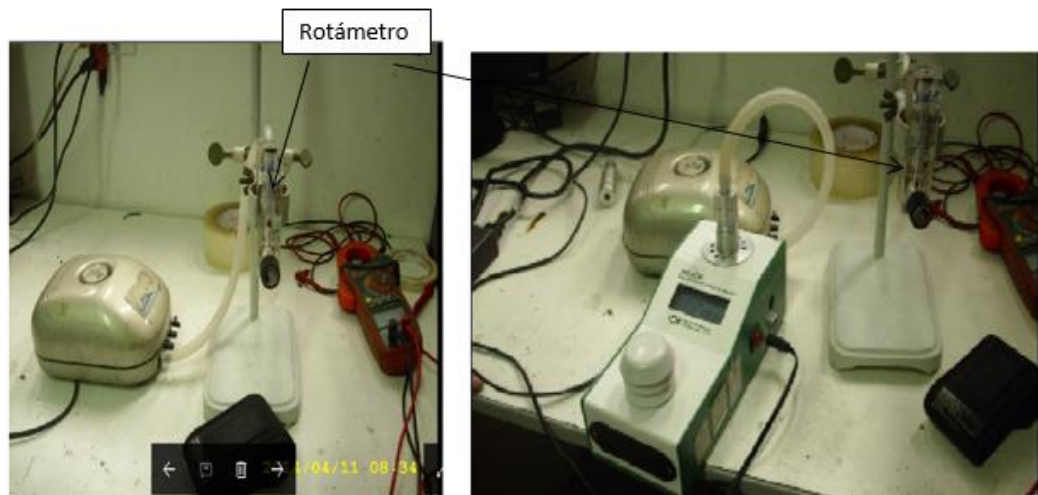
Rot3 l/min	Tetracal L <sub>v</sub> l/min					Promedio	Lv
2	2.24	2.25	2.26	2.25	2.25	2.250	2.145
3	2.800	2.810	2.810	2.800	2.810	2.806	3.018
4	3,99	4.010	3.980	4.000	3.990	3.995	3.890

$$m = 0.8725 \quad b = 0.4$$

**Tabla N° 42 Curva Calibración Rotámetro 4**

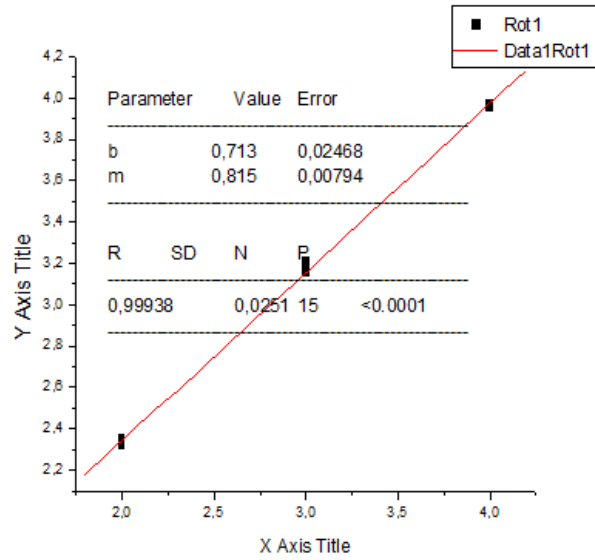
Rot4 l/min	Tetracal L <sub>v</sub> l/min					Promedio	Lv
1.4	1.345	1.344	1.338	1.365	1.392	1.357	1.335
2	1.978	1.982	2.000	1.990	1.965	1.983	2.018
3	3.090	3.080	3.220	3.190	3.260	3.168	3.155

$$m = 1.1374 \quad b = -0.257$$

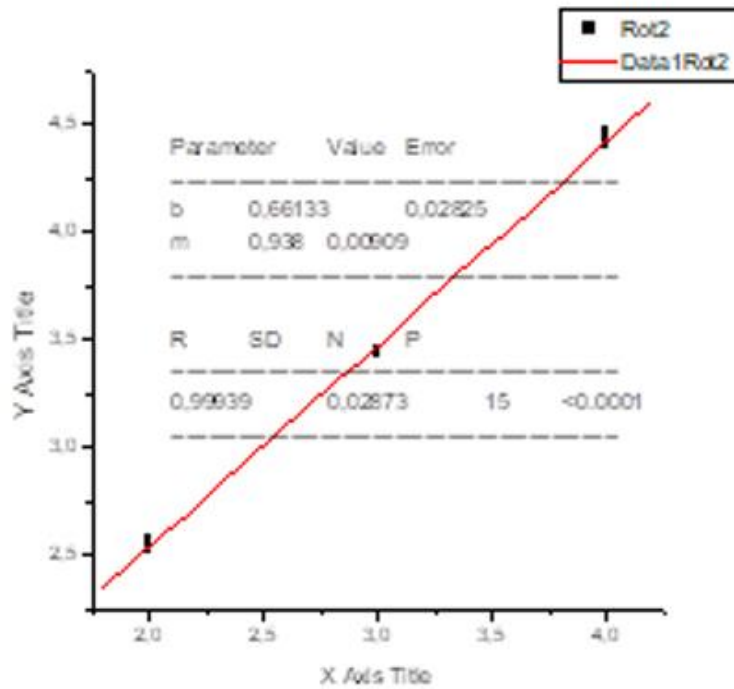


**Figura N°. 33 Foto del equipo de calibración de los rotámetros**

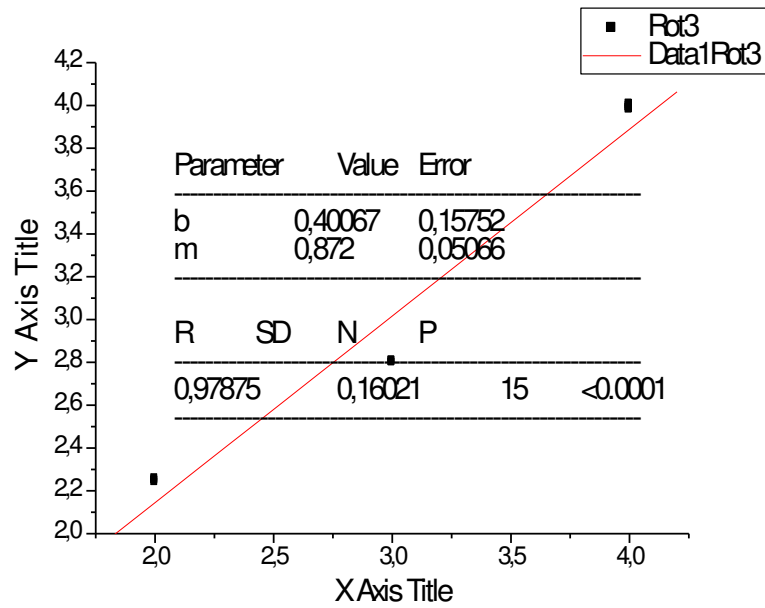
*Fuente propia*



**Figura N°. 34 Curva de calibración del Rotámetro 1**  
Fuente propia

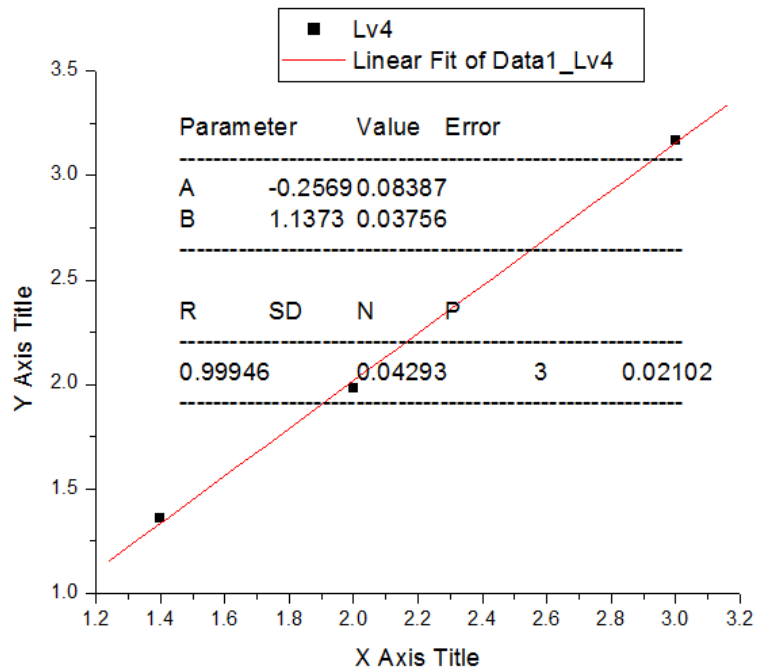


**Figura N°.35 Curva de calibración del Rotámetro 2**  
Fuente propia



**Figura N°.36 Curva de calibración del Rotámetro 3**

Fuente propia

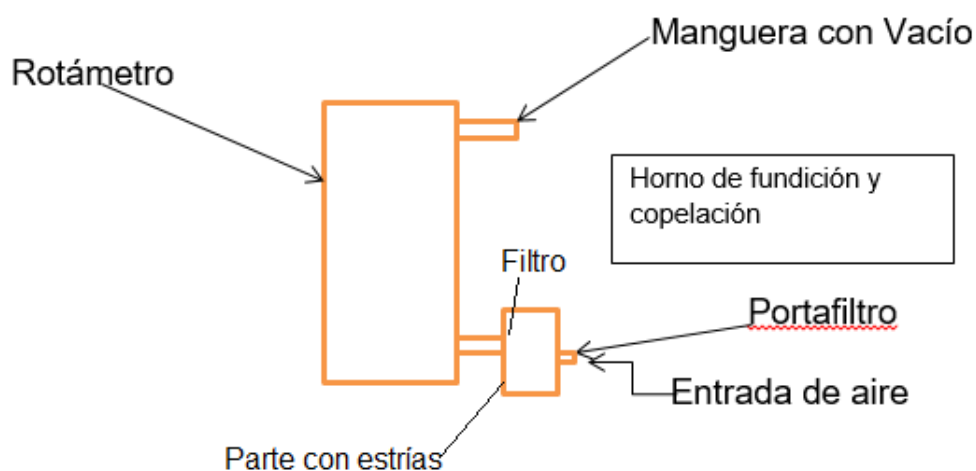


**Figura N°.37 Curva de calibración del Rotámetro 4**

Fuente propia

## b) PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

- Se coloca el soporte del filtro en el portafiltro, luego el filtro y se tapa el porta filtro, se anota el código del punto de muestreo.
- Armar el estante a la altura requerida del Horno.
- Colocar el rotámetro en posición vertical sujetándolo con una pinza con nuez.
- Conectar la manguera de unión de la bomba de pescera al rotámetro y el portafiltro al rotámetro



*Figura N°.38 Armado del sistema de muestreo*

*Fuente propia*

Se mantiene el sistema hasta finalizar el muestreo que generalmente es aproximadamente 60 minutos.



### **C) ATAQUE Y PREPARACION DE LAS MUESTRAS:**

Colocar los filtros en vasos de 50 ml añadir 2-3 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado, calentar a  $70-80^\circ$  bajo campana hasta pastoso.

Añadir 1 ml de  $\text{HNO}_3$  y unos 3 ml de agua calentar ligeramente y trasvasar a fioles de 10 ml, lavar el vaso con porciones de agua y enrasar.

### **d) LECTURAS POR ABSORCIÓN ATÓMICA.**

Preparar solución intermedia de 100 ppm a partir de 1000 ppm del estándar de plomo.

Prepara curva de 1-10 ppm al 10%  $\text{HNO}_3$

Longitud de onda 283.3 Aire 11L/min  $\text{NO}_2$  0.9 L/min

Algoritmo racional nuevo.

Optimizar el equipo:

- i) Uso de la lámpara de cátodo hueco de cobre para verificar rendimiento del equipo en solución de Cu de 4 ppm según rango dado por el fabricante
- ii) Velocidad de nebulización de 4 a 5 l/min
- ii) Presión adecuada de los gases
- iv) Alineación de la lámpara

## Anexo 3

ANEXO 3

Fotos Laboratorio A\_B,X

Horno de fusión y copelación

Se observa fugas con emisiones  
de plomo en la puerta del Horno

Estante de metal corredizo

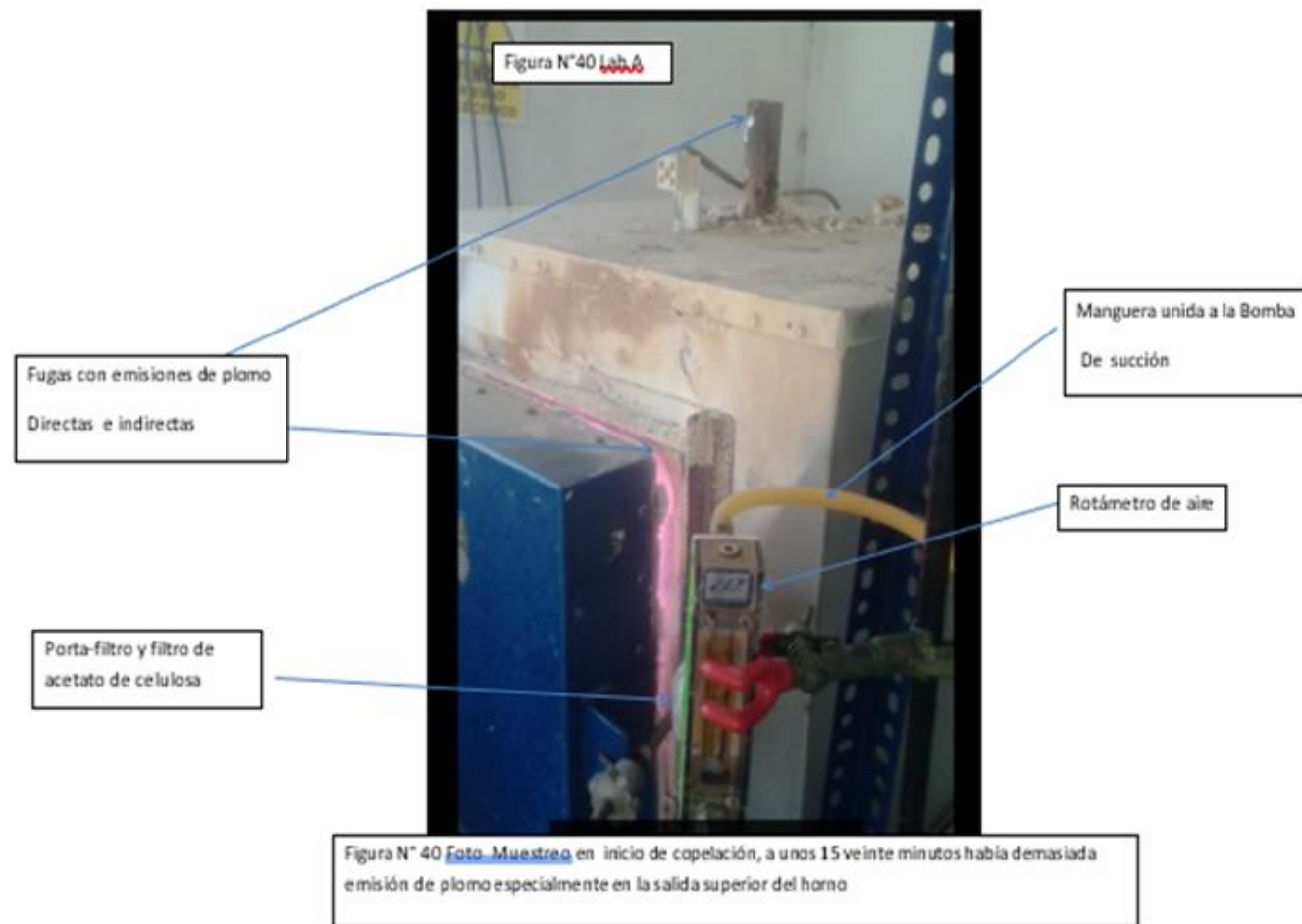
Figura 39 Lab. A

Rotámetro  
de aireManguera unida a la bomba de succión que por  
seguridad debido al calor esta fuera del alcance de  
la fotoFiltro de acetato de  
celulosa y porta filtro

Soporte Universal



Figura 39 Foto Toma de muestra de emisión de plomo al lado derecho en el Horno de Fusión y copelación en la empresa A.



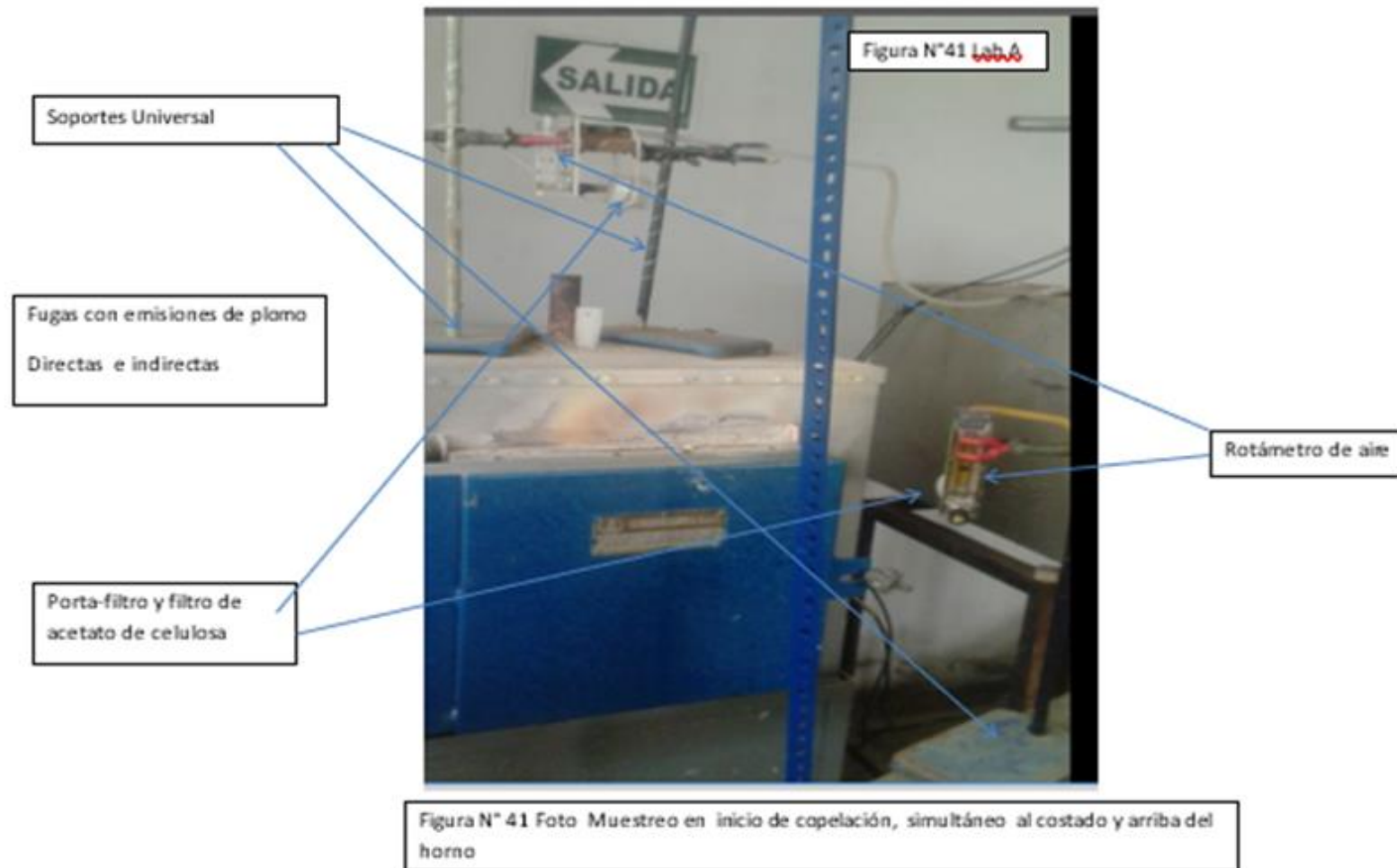


Figura 42 Lab. B

Foto4B muestreía concentrados Lab.B

Figura 43 Lab.B

Figura 43 Muestrería concentrados Lab.B

Figura 44

Muestreo en preparación de concentrados





Figura N°45

Figura N°45 Foto 7B

Sala de fundición laboratorio A Horno 2: a la izquierda y Horno3 a la derecha

La abertura de la puerta de ambos hornos es al lado derecho.F1 muestreo solo H3 no hubo fundición en H2

F2 muestreo solo en H2 no hubo fundición de H3.F3 y F4 simultáneos Todos sin extractor.

Figura N°46 Foto 8B



Ambos hornos fundiendo F3-H3 F4-H2 simultáneo. Luego solos F5;F6;F7.,F8;F9;F10

Observar que Horno2 emite en dirección de Horno 3.Copelación simultáneas: Cop1 y 2 ;Cop 3 y 4; Cop 5 y 6





Figura N°47 Foto 9B

Muestreo Horno3 Horno 2 no funcionaba en la copelación  
Copelación Cop. 7,8, y 9





Figura N°48Foto N°10B Muestreo simultáneo con tres rotámetros para cada horno

A la izquierda, al centro y a la derecha(donde está la abertura de la puerta)

Copelación. No funcionaba Horno 3,Cop X;Y;Z



Figura N°49 Foto Lab11.B Muestreo simultáneo con tres rotámetros para cada horno  
A la izquierda, al centro y a la derecha(donde está la abertura de la puerta)  
Copelación. No funcionaba Horno3

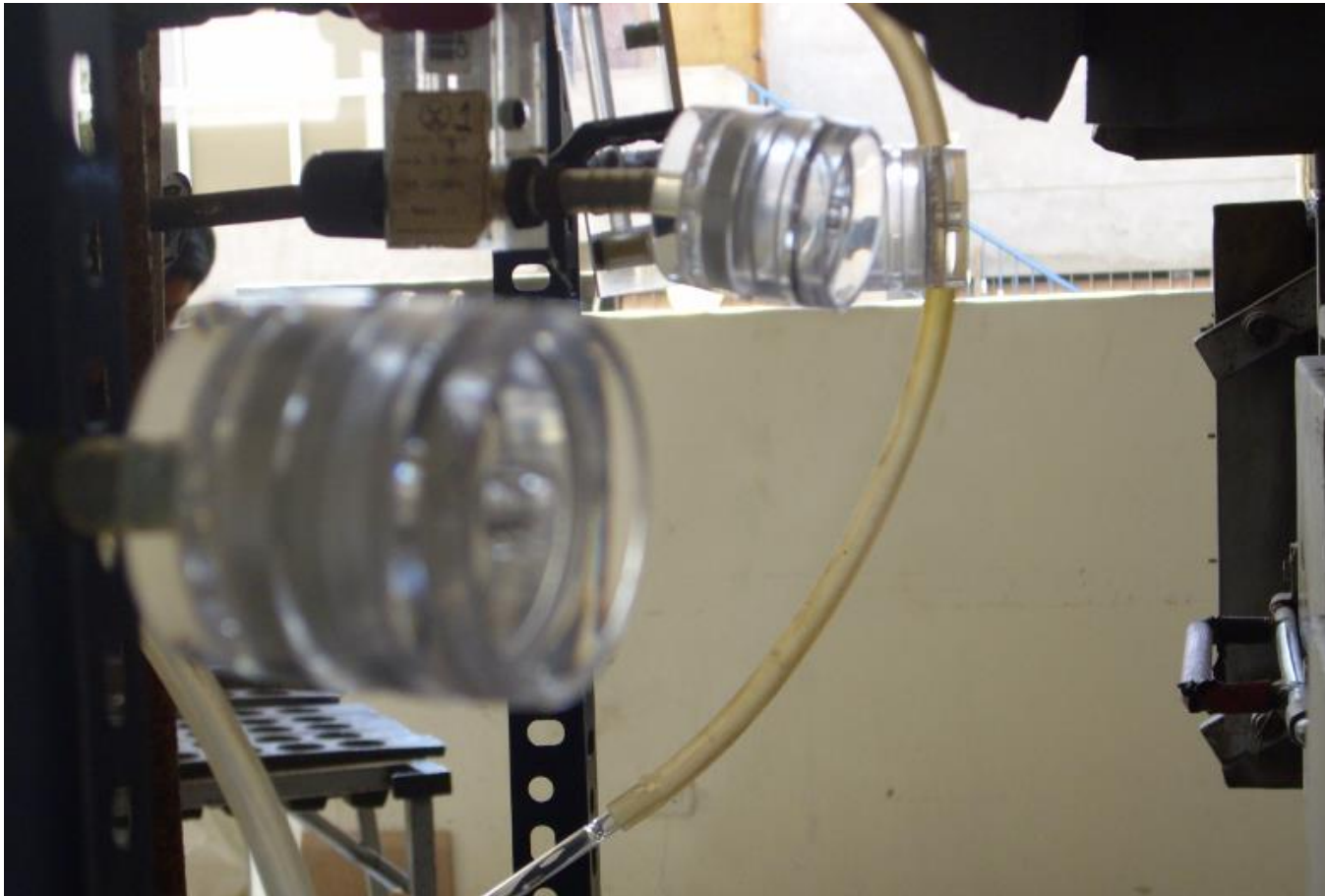


Figura N° 50 Foto Lab.12B Muestreo simultáneo con tres rotámetros para cada horno  
A la izquierda, al centro y a la derecha (donde está la abertura de la puerta)



Figura N° 51 Foto Lab.13B Muestreo a 4 m .Muestras 4MR Caso Horno 3





Figura N° 52 Foto Lab.14B Fundición muestras 4MR horno 2



Figura N° 53 Foto Lab.15B muestreo simultáneo a fundición H3 en la izquierda, al centro y a la derecha a la salida a 10 cm aprox. Muestras F 1.1;1.2;1.3 y F2.1;2.2;2.3

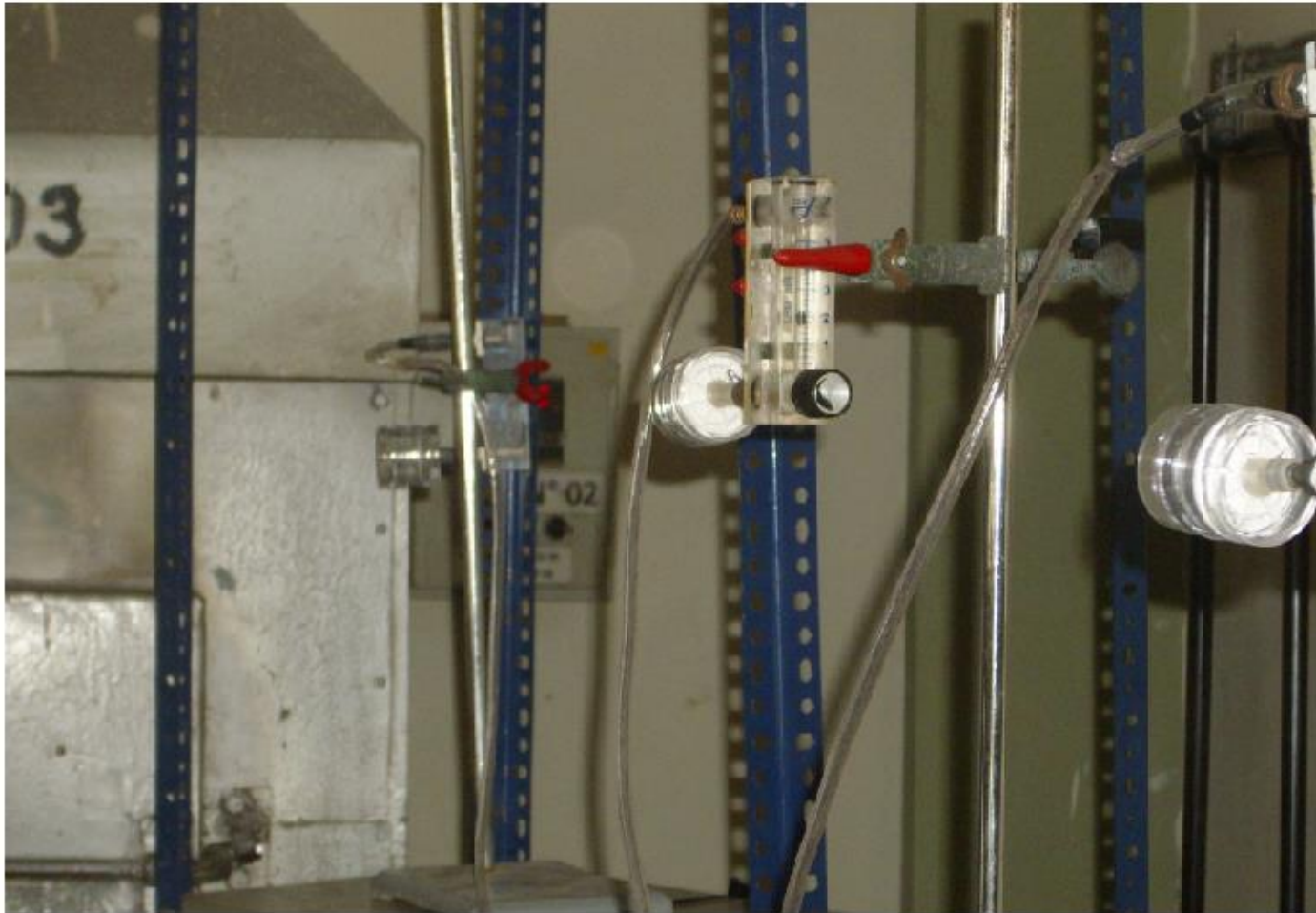


Figura N° 54 Foto Lab.16B muestreo a 10 cm,60 cm y 120 cm Fundición H3 muestras de F1 a F9



Figura N° 55 Lab.17B muestreo a 10 cm, 100 cm y 200 cm Copelación C1 a C6





Figura N° 56 Foto Lab. 18B. Fundición F16 a F18 Horno 3 .10;100;200 cm



Figura N° 57 Lab.Foto 19B muestras a 4 m F22 a F24 Horno 2



Figura N° 58 Foto Lab.20B Trasvase de crisoles



Figura N° 59 Foto Lab.21B Precalentamiento de copelas



Foto B

Figura N° 60 Foto Lab.22B Introducción de los botones en la copelación



Foto23 B ataque de muestras



Figura N° 61 Se hizo el ataque de las muestras sin lunas de reloj, porque esta campana tiene la entrada del extractor en los lados laterales ,lo que hace poco probable la contaminación.



Foto 23

Figura N° 62 Foto Lab.24X Blancos en el área Adyacente al laboratorio X de minerales y sala de balanzas, no tiene techo protector ni puertas.

Blancos Bk1 a Bk10



Figura N°63 Foto 25X Muestreo blancos área Lab.X de Ex Geoquímica

Otra vista de los blancos del Lab.X obsérvese la falta de techo lo que hace posible la contaminación debido, a las fugas de los ductos de las campanas extractoras de otras áreas (especialmente de minerales y fundición) dando blancos con algo de plomo

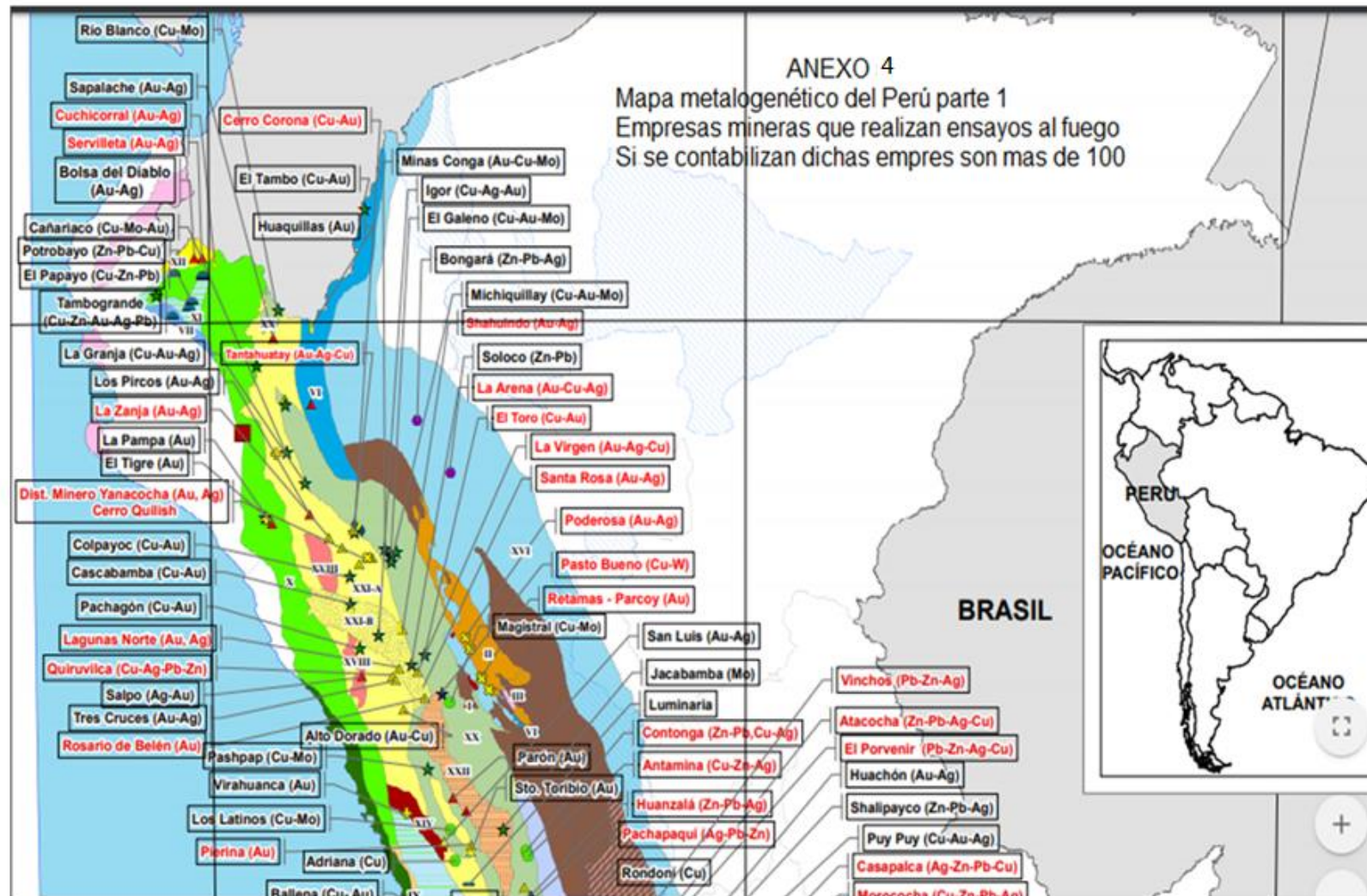




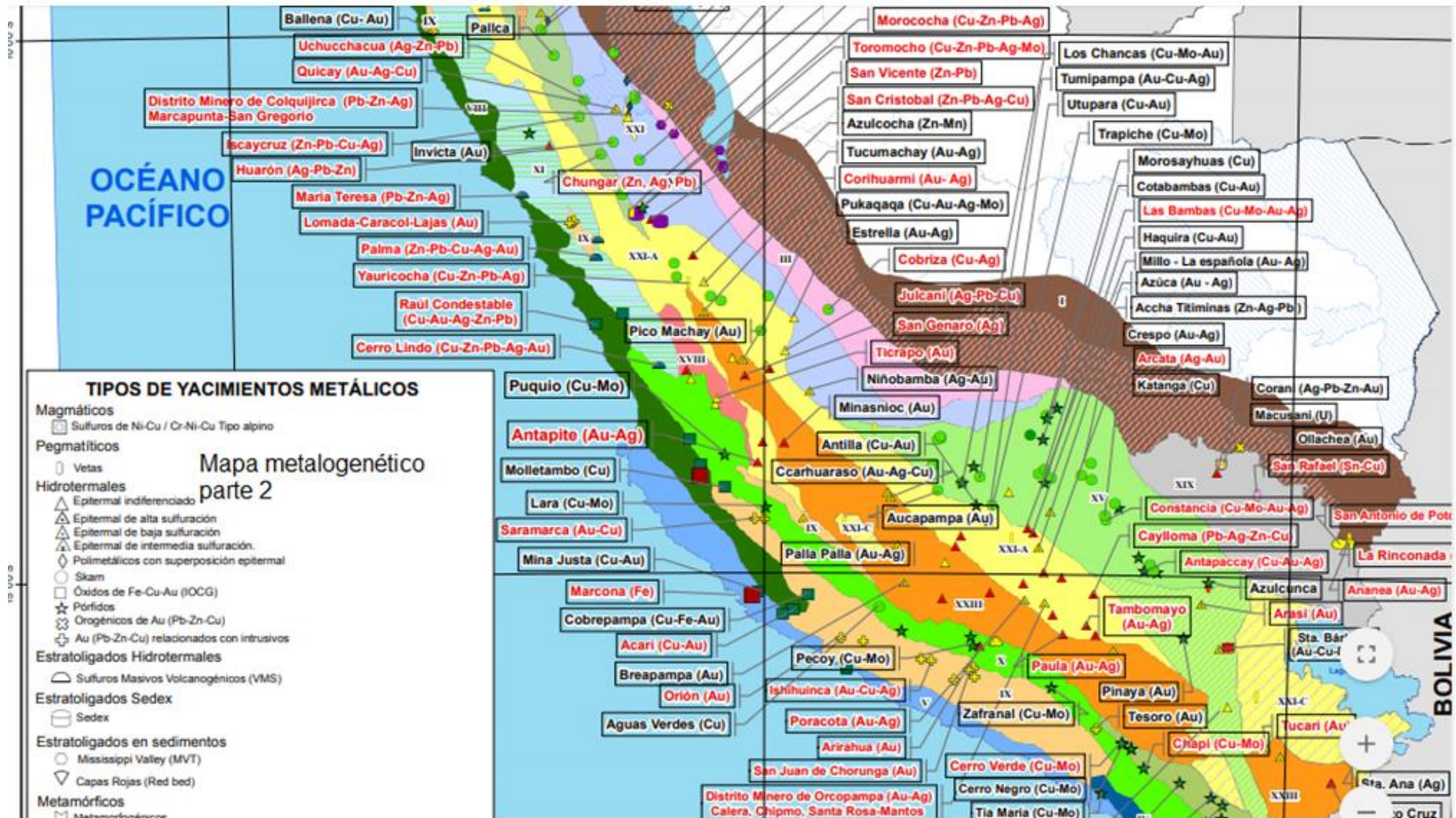
Figura N° 64 Foto N°26X Muestreo de fundición a la salida(10 cm) y a 2.7 m del horno del laboratorio X



Figura N° 65 Foto Lab.27X Muestreo de copelación del laboratorio X







Además de las empresas mineras existen laboratorios de ensayos que realizan ensayos al fuego:

- Alfred Night
- ALS
- Alex Stewart
- AGQ Laboratorios Perú
- Laboratorios Analíticos del sur
- Laboratorios Plenge
- Lab Perú
- MINLAB
- Química Germana
- Xertek Perú

y algunas otras empresas no formales

## **ANEXO 5**

**Guía para reducir plomo inorgánico en laboratorios de ensayos al fuego, editado por la oficina de jefes inspectores de minas British Columbia (This is the first edition of “A Guideline to Reducing Inorganic Lead Exposure in Fire Assay Laboratories”). [13]**

### **1 OBJETIVO**

Los laboratorios de ensayo al fuego que utilizan óxido de plomo (litargirio) en sus procedimientos pueden poner la salud de los empleados de laboratorio en riesgo significativo cuando las medidas de control de la exposición al plomo son inadecuadas. Los controles de ingeniería, los controles administrativos y el equipo de protección personal (EPP) son componentes importantes para reducir la exposición de los trabajadores. Todos los diseños de laboratorio son diferentes; Cada laboratorio debe realizar un monitoreo biológico y de exposición regular para asegurar que los controles en el lugar sean efectivos.

El propósito de este documento es proporcionar orientación sobre los controles que se pueden implementar en los laboratorios de ensayo al fuego para reducir la exposición de los trabajadores al plomo inorgánico y cumplir con los requisitos del Código de Salud, Seguridad y Recuperación de Minas en Columbia Británica.

### **2 FUENTES DE EXPOSICIÓN**

El óxido de plomo (litargirio) es un componente importante del material de flujo utilizado en el proceso de ensayo de fuego para ayudar a separar los metales preciosos objetivo del mineral. Las mayores fuentes de exposición inorgánica al plomo se producen por la liberación de partículas en suspensión en el aire al mezclar material de flujo y copas de cocción. Estas partículas finas se adhieren a la piel, cabello, ropa y superficies de laboratorio y se transfieren fácilmente de un área a otra, lo que hace que las exposiciones al plomo sean una preocupación durante todo el procedimiento de ensayo al fuego

### 3 LAS VÍAS DE ENTRADA

El plomo inorgánico entra más comúnmente en el cuerpo a través de la ingestión o la inhalación. Las partículas inhaladas más pequeñas que alcanzan el tracto respiratorio inferior pueden ser completamente absorbidas por el cuerpo. Las partículas de plomo inhaladas más grandes se adhieren a la capa mucosa en las fibras parecidas al cabello llamadas cilios en las vías respiratorias superiores. La ingestión también puede ocurrir debido al lavado inadecuado de las manos y la cara antes de comer, beber o fumar. Las concentraciones nocivas de plomo no siempre son visibles; Y ninguna cantidad de acumulación de plomo en el cuerpo se considera segura.

Una vez que el plomo entre en el cuerpo, viaja por el torrente sanguíneo *y se almacena en los huesos y el hígado, los riñones, el páncreas y los pulmones*. El plomo imita los iones de calcio, resultando en aproximadamente el 94% de la cantidad total de plomo que entra en el cuerpo adulto para ser almacenado en los huesos. La semivida de eliminación de plomo en los huesos es de aproximadamente 27 años (ATSDR, Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades 2007)

### 4 CONTROLES DE EXPOSICIÓN

Los laboratorios de ensayo al fuego y las áreas donde se produce el trabajo con plomo deben estar separados de otras áreas de trabajo para asegurar que la exposición del trabajador se mantenga lo más baja posible. Las exposiciones al plomo inorgánico se controlan mejor capturando el plomo en la fuente a través de controles de ingeniería tales como ventilación de extracción local. Los controles administrativos que se pueden utilizar para limitar la exposición de los trabajadores incluyen la rotación de los trabajadores a través de diferentes trabajos, la limpieza regular de las superficies de los laboratorios y el cumplimiento de los procedimientos de higiene personal. El equipo de protección personal (EPP) también desempeña un papel importante en la reducción de la exposición de los trabajadores. Es importante usar el PPE apropiado para cada tarea.

## 5 PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO SEGUROS

Se deben desarrollar procedimientos de trabajo seguros para proporcionar orientación específica a los trabajadores sobre cómo protegerse de exposiciones potencialmente dañinas. Los procedimientos de trabajo seguro para los laboratorios de ensayo al fuego deben incluir estipulaciones para el uso apropiado del equipo de laboratorio y EPP. Los procedimientos deben detallar el mantenimiento requerido de los equipos de laboratorio así como los parámetros operativos de los equipos de ventilación. Se deben desarrollar e implementar procedimientos de trabajo seguros que detallan las expectativas de un buen manejo de la casa y de la higiene personal.

Los trabajadores deben ser entrenados en procedimientos de trabajo seguro e informados de los peligros relacionados con el trabajo con plomo.

## 6 VENTILACIÓN

La ventilación adecuada en un laboratorio de ensayo al fuego es crítica para minimizar la exposición de los trabajadores. Los sistemas de ventilación de los laboratorios deben ser diseñados por un ingeniero de ventilación certificado que pueda asegurar que el sistema sea apropiado para la disposición específica del laboratorio y para el manejo del plomo. Los sistemas de ventilación por dilución no son adecuados para controlar la exposición de los trabajadores al polvo de plomo en los laboratorios de ensayo al fuego. Se debe proporcionar una ventilación de escape adecuada dondequiera que los trabajadores:

- Mezclen el flujo en muestras de mineral
- Operen hornos de fusión y copelación
- Viertan muestras en moldes de escorias
- Trabajen con muestras frescas

El control de estas exposiciones en la fuente minimiza la exposición de los trabajadores y la propagación de la contaminación a otras áreas de trabajo. Cada campana debe estar equipada con un indicador de flujo o una alarma para notificar a los trabajadores inmediatamente si los caudales caen por debajo de los requisitos operacionales. Los requisitos exactos de ventilación variarán dependiendo del diseño y las condiciones dentro del laboratorio.

Cada laboratorio debe ser evaluado individualmente para determinar los parámetros operativos óptimos para el sistema de ventilación. La manera más eficiente de capturar



contaminantes y reducir la exposición de los trabajadores es encerrar las áreas de generación de contaminantes tanto como sea posible. La reducción del área superficial de la abertura de la cara de la campana facilita la captura de contaminantes a velocidades de flujo más bajas. Parámetros operativos específicos para contener contaminantes pesados y tóxicos.

El sistema de ventilación de cualquier laboratorio de ensayo al fuego debe ser certificado. Los cambios en un sistema de ventilación justifican la necesidad de un monitoreo adicional de la exposición para confirmar la efectividad de los controles. Según Hall recomienda flujo de 6 m/s en los ensayos al fuego

## **7 VERTIDO, DESESCORAR Y MARTILLO**

El vertido del fundente y de la muestra en los moldes se debe completar en un recinto ventilado

## **8 CRISOLES Y COPELAS DE COCCIÓN**

Los hornos en laboratorios de ensayo al fuego deben tener campanas para controlar la temperatura y capturar los humos emitidos por los crisoles y las copelas. Un problema común en los laboratorios de ensayo al fuego es la incapacidad del sistema de campana del horno para capturar los humos liberados al retirar las muestras del horno. Este problema se produce con mayor frecuencia debido a un flujo de escape inadecuado y campanas configuradas incorrectamente. Si se usa una campana de bajo techo sobre un horno, se puede lograr la captura de contaminantes extendiendo el borde de la campana a 30 cm (12 pulgadas) más allá de todos los lados del horno (ACGIH, 1992).<sup>4</sup> Se define una capucha de bajo techo como situada a una distancia de la fuente caliente que no excede ni el diámetro de la fuente ni 1 m (3 pies), el que sea menor (ACGIH, 1992).

Una serie de estudios de casos realizados por NIOSH han demostrado, sin embargo, que la ampliación de la campana de 15 - 20 cm (6 - 8 pulg.) más allá de los bordes del horno y el aumento del volumen de aire de escape también pueden limitar suficientemente la exposición de los trabajadores en los laboratorios de ensayos al fuego (Hall et al., 1998; Tharr, 1991).

Cada situación debe evaluarse individualmente para determinar la configuración apropiada de la campana y los parámetros operativos.

El volumen de aire de escape de la campana del horno debe ser mayor que las corrientes de convección generadas cuando se abre la puerta del horno. Las corrientes

ascendentes de aire procedentes de procesos calientes son capaces de alcanzar una velocidad de 2,0 m / s (400 pies / min) (ACGIH, 1992)<sup>5</sup>. Las corrientes de convección en los laboratorios de ensayo al fuego difieren entre los hornos, pero se han medido en el intervalo de 0,5 a 0,9

m<sup>3</sup>/s (Hall et al., 1998). Estas corrientes fuertes son creadas por la liberación rápida de aire caliente al abrir la puerta del horno.

Los sistemas de campana de capota también son altamente susceptibles a los tramos cruzados que interfieren con la captura de contaminantes.

Deben eliminarse o reducirse las fuentes de trazas cruzadas para evitar pérdidas en la eficiencia de la captura de contaminantes.

En estas situaciones, las cortinas resistentes al calor se pueden colgar de los bordes de la capota para limitar las interferencias de trazos cruzados y aumentar la velocidad y la eficiencia de captura. Otras opciones para aumentar la efectividad de un sistema de campana de cubierta de horno incluyen aumentar el tamaño del ventilador y / o la velocidad del sistema existente e instalar una capucha secundaria sobre la puerta del horno. El uso de una capucha secundaria para la captura de humos ha tenido más éxito cuando la campana se extiende por lo menos a 10 cm (4 pulgadas) más allá de la parte frontal y laterales de la puerta y mantiene una velocidad de cara de al menos 1,5 m / s (300 pies / (Tharr,1991).

<sup>5</sup>ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). (1992). *Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice* (21st ed.). Cincinnati, OH: ACGIH

## ANEXO 6 GLOSARIO

### **Definición de Términos (Glosario)**

#### Ag –Au-Pb

Símbolos químicos de los elementos plata (Ag); oro (Au);plomo(Pb) .

#### Botón de plomo-oro-plata (Pb-Ag-Au)

Forma sólida compacta compuesta en su mayoría por plomo, oro y plata que se obtiene en la primera fusión de la muestra con litargirio para separar las impurezas.

#### Copelación

Procedimiento en el cual el botón de plomo-oro-plata (Pb-Ag-Au) es fundido a 900-1000°C(segunda fusión) en unos recipientes llamados copelas que tienen la propiedad de absorber el plomo obtenido en el botón Pb-Ag-Au cuando se funde inicialmente la muestra. para formar el doré Ag-Au.

#### Condiciones sub estándar

Según manuales de seguridad se define así a la situación que se presenta en el lugar de trabajo que se caracteriza por riesgo no controlado que pueden genera accidentes o enfermedades laborales.

La otra definición es partir del significado de las palabras: Cualquier cambio en los equipos,materiales o al ambiente de trabajo con respecto a una condición estándar que constituye condiciones de riesgo de accidente o enfermedad laboral

#### Decilitro (dL)

La décima parte de un litro

#### Doré

Forma compacta formada por oro y plata en su mayoría, obtenido a partir del botón de Pb-Ag-Au.

#### Ensayo al fuego (Fire Assay)

Ensayo de laboratorio para determinar el contenido de oro ,plata o ambos en el cual se realiza una fusión inicial llamada fundición ,del cual se obtiene el botón de Pb-Ag-Au , luego del cual se hace la segunda fundición llamada copelación para obtener el doré de oro y plata-

Finalmente se realiza la partición (separación del oro de la plata).

Ensayo de F de Fisher

Ensayo estadístico usado para evaluar varianzas muestrales muestras de dos muestras basadas en la distribución F de Fisher

El estadístico usado  $F = s_1^2/s_2^2$  donde  $s_1 > s_2$  siendo s la desviación estándar muestral

Ensayo de t de student

Ensayo estadístico usado para evaluar medias muestrales basado en la distribución t de student, se usa para pequeñas muestras (<30)

Existen dos posibilidades del t experimental a evaluar:

Muestras con varianzas homogéneas, se dicen que tienen varianzas iguales

Muestras con varianzas heterogéneas, se dicen que tienen varianzas desiguales.

Estudio de cohorte

Un **estudio de cohortes** es un estudio epidemiológico, observacional, analítico, longitudinal prospectivo, en el que se hace una comparación de la frecuencia de enfermedad (o de un determinado desenlace) entre dos poblaciones, una de las cuales está expuesta a un determinado factor de exposición o factor de riesgo al que no está expuesta la otra.

Fundición

Procedimiento por el cual un sólido pasa a estado líquido por acción del calor (fusión)

Flujo de aire

Cantidad de aire en unidad de masa sobre unidad de volumen que pasa por un punto en el espacio.

Microgramo(μg)

Cantidad de masa equivalente a  $10^{-6}$  (0.000001) g

Mufla

Horno pequeño para fundir muestras generalmente a temperaturas menores a 1000°C

Pb

Símbolo químico del plomo metálico.

PEL Límite de exposición permisible

Pb-S

Contenido de plomo en la sangre

### Plomo sérico

Plomo contenido en la sangre asociado al suero sanguíneo.

ppm En muestras de aire  $1 \text{ ppm} = 1 \mu\text{g} / \text{m}^3$  de aire

### Saturnismo

También llamado plumbosis o plumbenia es el envenenamiento que produce el [plomo](#) (Pb) cuando entra en el cuerpo humano. Se denomina así debido a que, en la antigüedad, los [alquimistas](#) llamaban "[saturno](#)" a dicho elemento químico.

### TWA (Time-weighted average)

Límite de exposición permisible ponderado en 8 horas de trabajo.

TLV (Threshold limit value): Valor umbral **límite**. Concentración máxima permitida para **exposición** de trabajadores

STEL (Short time exposition limit) límite de corto tiempo de exposición

## Anexo 7

Cálculo de la incertidumbre de la concentración de plomo

A) Curva de calibración de plomo algoritmo racional nuevo

# Incertidumbre curva de calibración curva racional nuevo para Plomo

$$C = \frac{A}{PA^2 + QA + R} \quad A_{\text{curva}} = \frac{(1-QC) \cdot \sqrt{(1-QC)^2 - 4PRC^2}}{2PC} \quad T = \sqrt{(1-QC)^2 - 4PRC^2}$$

$$\text{Sea } M = PA^2 + QA + R$$

Sea $M = PA^L + QA + R$											Suma $\rightarrow$	1E-06		
C	Aexp	P	Q	R	M	T	A <sub>curva</sub>	$\delta C/\delta P$	$\delta C/\delta Q$	$\delta C/\delta R$	$\delta C/\delta A$	$(A_{\text{curv}} - A)^2$	$S^2_A$	C <sub>curv</sub>
0	0.00020	-0.07411	-0.00072	0.03113	0.03113	1	0	-8.3E-09	-4.1E-05	-0.20638	32.12366	4E-08	5.0199E-07	0.0000
2	0.06210	-0.07411	-0.00072	0.03113	0.030799	1.0197	0.06161	-0.25246	-4.06533	-65.4643	33.117769	2.41E-07		2.0000
5	0.1463	-0.07411	-0.00072	0.03113	0.029438	1.11262	0.1471	-3.6133	-24.6979	-168.816	37.751459	6.43E-07		5.0000
10	0.2598	-0.07411	-0.00072	0.03113	0.025941	1.39186	0.25952	-26.0586	-100.302	-386.075	53.694084	7.92E-08		10.0000
15	0.3401	-0.07411	-0.00072	0.03113	0.022313	1.76013	0.33703	-79.0142	-232.326	-683.112	79.744229	9.39E-06		15.0000
0.56	0.01741	-0.07411	-0.00072	0.03113	0.031095	1.00185	0.01741	-0.00546	-0.3136	-18.0093	32.218969	<--Muestr ver hojaSr.SR		
0.04358566	<--- C <sub>inest.</sub>					A <sub>inest.</sub> <-->	0.00136	ver hoja Pb.In.						
n=	4.00000													

$$\delta C / \delta P = -A^3 / M^2$$

$$P1=P; P2=Q; P3=R$$

$$\delta C / \delta Q = -A^2 / M^2$$

$$S_P = 0.00657$$

$$S_Q = 0.00318$$

$$\delta C / \delta R = -A / M^2$$

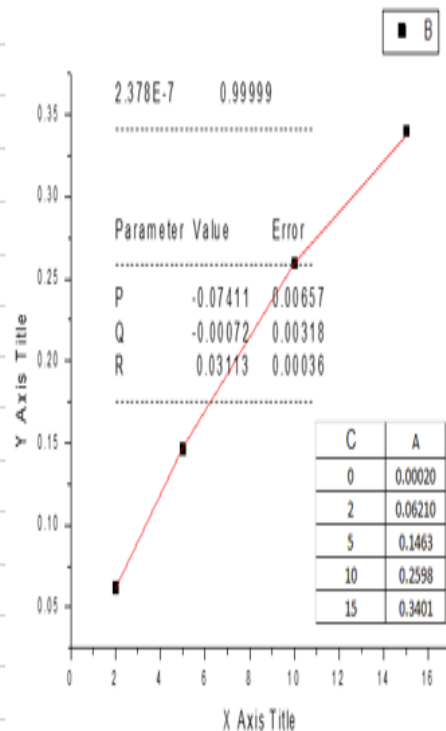
$$S_R = 0.00036$$

$$\delta C / \delta A = [M - (2A(P+Q))] / M^2$$

$$S_C^2 = (\delta C / \delta P)^2 S_P^2 + (\delta C / \delta Q)^2 S_Q^2 + (\delta C / \delta R)^2 S_R^2 + (\delta C / \delta A)^2 S_A^2$$

$$S_C^2 = 5.641E-04 \quad \mu_C = S_C = 0.023751$$

Se calcula A<sub>curva</sub> a partir del dato experimental e la concentración(A14), luego se calcula el valor A=A<sub>curva</sub> (B14) y se obtiene la incertidumbre.



## B) Calculo de la incertidumbre

## Calculo de la incertidumbre sistemática en muestreo de plomo en ensayos al fuego

Expresión del mensurando

$$C \mu\text{gPb}/\text{m}^3 = 1000 C_L * V_f / \Phi_v * t \quad \text{Ec.1}$$

Aplicando propagación de incertidumbres en el sistema americano:

$$\mu^2/C^2 = \mu^2_{C_L}/C_L^2 + \mu^2_{V_f}/V_f^2 + \mu^2_{\Phi}/\Phi^2 + \mu^2_t/t^2 \quad \text{Ec.2}$$

Donde :

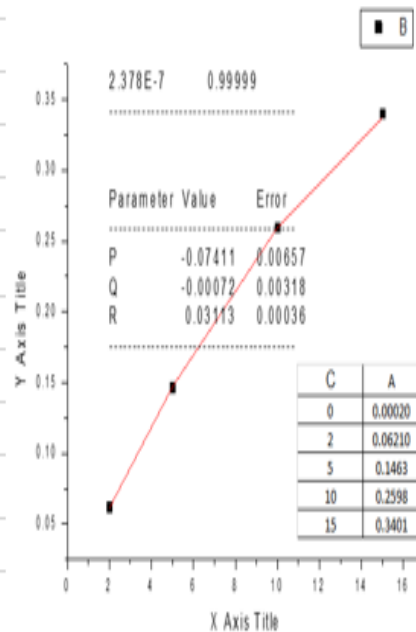
$\mu$  es incertidumbre

$C_L$  concentración de lectura del plomo por AAS en  $\mu\text{gPb}/\text{ml}$

$V_f$  volumen del a fiola ( 10 ml)

$\Phi = \Phi_v$  flujo del rotámetro en litros

$t$  tiempo en minutos



1. Incertidumbre de la fiola de 10 ml	$\mu_{V_f}$ ml
Del Fabricante dist rectangular	0.038
Repetibilidad enrase	0.0109
Temperatura mas de 25°C, 5 °C	0.0105
0.00021 x 5°C x 10 ml	$\mu_{V_f} = 0.010712832$ ml
	$V_f = 10$ ml

2. Incertidumbre de la concentración de lectura  $\mu_{C_L}$

Viene dada por la curva de calibración pa.87 F1  $CL = 0.56 \text{ ppm}$  Abs = 0.1741

Conc = A

$$(-0.07411 \times A \times A - 0.00072 \times A + 0.03113)$$

Para una concentración d  $C_L = 0.56 \text{ ppm}$

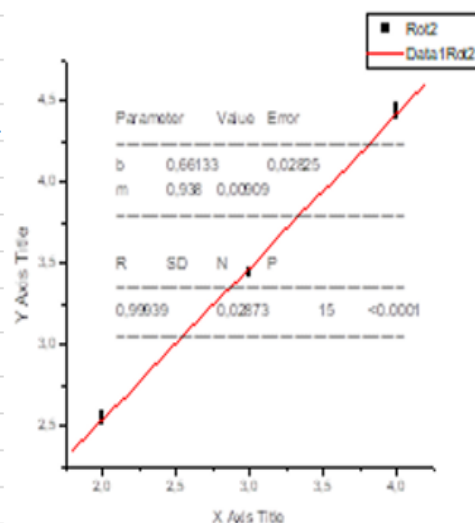
De curva de calibración  $\mu_{C_L} = 0.02371 \text{ ppm}$

3, Incertidumbre del flujo viene dada por el rotámetro

Dos fuentes de error

3,1 Error de escala del rotámetro la mitad de la escala

$$0.1/2 = 0.05 \text{ LPM}$$





Para el rotámetro 2	$\Phi_v = m \Phi_L + b = T + b$	Ec.3				
en la pág 117 se tiene para $\Phi_L = 2 \text{ LPM}$						
	$\Phi_L$				prom	s
$\Phi_v$	2.56	2.57	2.56	2.52	2.55	0.01720465
Sea	$T = m \Phi_L$	Ec.4				
	$T =$	1.876				
luego	$\mu^2_T / T^2 = \mu^2_m / m^2 + \mu^2_{\Phi_L} / \Phi_L^2$	Ec4				
	$\mu_m =$	0.00909	ver curva de calibración			
	$m =$	0.938	ver curva de calibración			
	$\Phi_v = 2.55$	$\Phi_{vL} = 0.05$	se toma mitad de la escala			
$\mu_{\Phi_v} = s/(5)^{0.5} = 0.007694154$ incertidumbre aleatoria de lectura del tetracal calibrador						
	$n=5$	$T = 2.3919$				
Luego de Ec.3	$\mu_T =$	0.041031672		$\wedge$		
y de la curva rot.	$\mu_b =$	0.02825				
Luego de Ec.3 y Ec.4 :						
Luego de Ec.3 y Ec.4 :						
		$\Phi_v = T + b$	luego $\mu^2_{\Phi_v} = \mu^2_T + \mu^2_b$	Ec.5		
		$\Phi_v =$	2.5373			
		$\mu^2_{\Phi_v} =$	0.002482			
		$\mu_{\Phi_v} =$	0.049816	sist		
		$\mu_{\Phi_v} =$	0.007	contribuye muy poco		
		$\mu_{\Phi_v T} =$	0.050306			
4. Incertidumbre del cronómetro						
Tomaremos la mitad de la division menor 0.5 seg = 0.008333 min						
		$\mu_t =$	0.0083	mim		
		$t =$	60	min		
Reemplazando en Ec.2 se tiene						
		$\mu^2_C / C^2 = \mu^2_{cl} / CL^2 + \mu^2_{Vf} / V_f^2 + \mu^2_{\Phi_v} / \Phi_v^2 + \mu^2_t / t^2$				
		$C = (1000 * 0.56 * 10) / (2.55 * 60)$				
Calculando	C	$C =$	36.60130719			

Desarrollando términos	$\mu_c^2/C^2 =$	0.002175429			
	$\mu_c =$	1.707139686	incertidumbre combinada		
	$\mu_c =$	3.414279372	Incertidumbre expandida k=2		
	Resultado	36.60130719	$\pm$	3.4142794	